

FG-2201-NHB-A-BA-RT22-02

À

NORSK HYDRO BRASIL

Av. Gentil Bittencourt, 549

Belém – PA

A/C

CAROLINA VARKALA

Departamento de Suprimentos de Bauxita & Alumina

Referência: Segurança e estabilidade dos depósitos de resíduos sólidos – DRS1 e DRS2**Local:** Barcarena – PA

Prezada,

Apresentamos o relatório técnico de Interpretação dos resultados dos testes relativos à aplicação do material sobre as geomembranas, em atendimento à letra “N” do Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta, celebrado entre a HYDRO e o Ministério Público do Estado do Pará (MPPA), Ministério Público Federal (MPF), o Estado do Pará e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará. O DRS2 está localizado junto a produção da Alunorte, no município de Barcarena – PA.

À disposição para esclarecimentos julgados necessários,

Belo Horizonte, 03 de agosto de 2023

Atenciosamente,



Michel Fontes

DIRETOR

FONNTES GEOTÉCNICA



FONNTES
G E O T É C N I C A

FG-2201-NHB-A-BA-RT22-02

RELATÓRIO TÉCNICO DE INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2

CLIENTE:



PROJETO:

**AUDITORIA DE SEGURANÇA E
ESTABILIDADE DOS DEPÓSITOS DE
RESÍDUOS SÓLIDOS DRS1 E DRS2**

BARCARENA - PA



Agosto/2023

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

REV.	DATA	POR	REVISÃO	APROV.	DESCRIÇÃO DE REVISÕES
0	10/06/22	BSC/RCM /RCJ	ACS/ BCN/ MVS/ GHA	ACS	EMISSÃO INICIAL
1	17/03/23	BSC/RCM /RCJ	ACS/ BCN/ MVS/ GHA	ACS	ATENDIMENTO A COMENTÁRIOS
2	03/08/23	BSC/RCM /RCJ	ACS/ BCN/ MVS/ GHA	ACS	APROVADO

Esta é a folha de controle de revisões deste documento. Uma breve descrição de cada revisão do documento deverá constar nesta folha. O tipo de emissão está demarcado abaixo em **negrito**.

TE – TIPO DE EMISSÃO

(A) PRELIMINAR	(E) PARA CONSTRUÇÃO
(B) PARA APROVAÇÃO	(F) CONFORME COMPRADO
(C) PARA CONHECIMENTO	(G) CONFORME CONSTRUÍDO
(D) PARA COTAÇÃO	(H) CANCELADO

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2****SUMÁRIO**

GLOSSÁRIO	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVO	6
3. DADOS UTILIZADOS	7
4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	8
5. APRESENTAÇÃO DO PROJETO DA ESTRUTURA.....	9
5.1 LOCALIZAÇÃO	12
5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	18
5.2.1 <i>Geologia Regional</i>	18
5.2.2 <i>Histórico de Investigações</i>	20
5.2.3 <i>Geologia Local</i>	21
5.3 PLATAFORMA DA PILHA DE RETOMADA DO RESÍDUO E CÉLULA DE CONTINGÊNCIA.....	22
5.4 CANAIS DE CONTORNO E BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)	23
5.5 DIQUE DE CONTORNO.....	25
5.6 DIQUE ENTRE CANAL DE CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS E CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE	25
5.7 DIQUE EXTERNO DO CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE	26
5.8 DIQUE EXTERNO DAS BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)	27
5.9 DIQUE DE CONTENÇÃO DA ÁREA ÚMIDA (INFRAESTRUTURA INICIAL).....	27
5.10 DIQUE CENTRAL E FINGERS (INFRAESTRUTURA INICIAL)	27
5.11 SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	28
5.12 DRENAGEM INTERNA DA PILHA	30
5.13 INSTRUMENTAÇÃO.....	31
5.14 SISTEMA EXTRAVASOR.....	32
5.15 GALERIA DE TRANSPOSIÇÃO DO CANAL DE ADUÇÃO	33

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

5.16	DRENAGEM SUPERFICIAL	33
5.17	PROJETO <i>AS BUILT</i>	33
6.	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	34
7.	DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	35
7.1	PROPRIEDADES DOS MATERIAIS GEOSSINTÉTICOS IMPLANTADOS NO DRS2	37
7.1.1	<i>Geomembrana de PEAD Face Lisa</i>	<i>37</i>
7.1.2	<i>Geomembrana de PEAD Face Texturizada</i>	<i>39</i>
7.1.3	<i>Geotêxtil Não Tecido.....</i>	<i>41</i>
7.1.4	<i>Propriedades dos Acessórios.....</i>	<i>42</i>
7.2	DEFORMAÇÕES DA GEOMEMBRANA.....	42
7.3	AVALIAÇÃO DA FONNTES	44
7.3.1	<i>Verificação da espessura da geomembrana.....</i>	<i>44</i>
7.3.2	<i>Verificação do geotêxtil de proteção para a geomembrana</i>	<i>49</i>
7.3.3	<i>Verificação da ancoragem para a geomembrana</i>	<i>51</i>
8.	CONCLUSÕES	56
9.	REFERÊNCIAS	57

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

GLOSSÁRIO

- “As Built” – “Como Construído” – expressão para definir o projeto que descreve o estado imediatamente após a implantação de uma estrutura.
- “As Is” – “Como está” – expressão para definir o projeto que descreve o estado atual de uma estrutura
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- Alunorte – Alumina do Norte do Brasil S.A. – empresa brasileira formada a partir de acordo bilateral pelos governos do Brasil e do Japão em 1976. Empresa produtora de alumina, responsável pela operação e manutenção do DRS 1 e DRS 2, signatária do TAC 3.1 e subsidiária da Hydro.
- ANA – Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
- BC – Bacias de Controle
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil
- DOE – Diário Oficial do Estado
- DRS 1 – Depósito de Resíduos Sólidos nº 1 de propriedade da ALUNORTE
- DRS 2 - Depósito de Resíduos Sólidos nº 2 de propriedade da ALUNORTE
- ETEI – Estação de Tratamento de Efluentes Industriais
- FONNTES – Fonntes geotécnica Ltda – Empresa vencedora do edital para contratação de auditoria independente para atendimento ao item 3.1, do TAC 3.1.
- Hydro – Norsk Hydro ASA – Empresa Norueguesa, que tem na produção de alumínio o seu principal negócio e signatária do TAC 3.1.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- MPF – Ministério Público Federal
- MPPA – Ministério Público do Estado do Pará
- MPSA – Mineração Paragominas
- MRN – Mineração Rio Norte
- NBR – Norma Brasileira
- NSPT – Número de golpes necessários para à cravação de amostrador de sondagem à percussão (spt), considerando apenas os 30 cm finais
- PA – Estado do Pará
- PEAD – Polietileno de alta densidade
- SEMAS – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará
- SPT - Ensaio de penetração padrão conforme a norma ABNT NBR 6484:2020.
- TAC 3.1 – item do Termo de Ajustamento de Conduta relativo à “Auditoria de segurança e estabilidade dos depósitos de resíduos sólidos”, assinado pela HYDRO, ALUNORTE, Ministério Público do Pará, Ministério Público Federal e Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará.
- UTM – Universal Transversa de Mercator (Sistema de projeção cartográfica)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
<p style="text-align: center;">INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2</p>		

1. INTRODUÇÃO

A Norsk Hydro ASA (HYDRO) fundada em 1905 é uma empresa norueguesa com atuação em 40 países nos setores da mineração, industrial e de energia. O Brasil é a principal fonte de matéria-prima do alumínio da HYDRO, a bauxita, extraída em Paragominas e Trombetas (PA). A bauxita é refinada e convertida em alumina (óxido de alumínio) na Alunorte, localizada no município de Barcarena (PA), que é a maior refinaria de alumina do mundo fora da China. Este processo gera um resíduo que é lavado, filtrado e armazenado em depósitos de resíduos sólidos (DRS1 e DRS2), apresentados na Figura 1.1.



Figura 1.1 – Localização do empreendimento.

Neste contexto, a Fonntes Geotécnica (FONNTES) foi contratada por meio do Edital de Contratação de Serviços de Auditoria de Segurança e Estabilidade dos Depósitos de

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

Resíduos Sólidos DRS1 e DRS2. O objeto do contrato se trata da prestação do serviço de elaboração de auditoria da segurança e estabilidade dos depósitos de resíduos sólidos - DRS1 e DRS2, do termo de compromisso de ajustamento de conduta, Inquérito Civil - IC n° 001/2018 - MP (SIMP n°000654 -710/2018) MPPA, Inquérito Civil n° 000980 - 040/2018 (Portaria no 12/2018) MPPA, Inquérito Civil no 1.23.000.000498/2018 - 98 MPF.

Os relatórios a serem elaborados pela FONNTES atenderão plenamente aos requisitos do Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta, celebrado entre a HYDRO e o Ministério Público do Estado do Pará (MPPA), Ministério Público Federal (MPF), o Estado do Pará e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará, incluindo:

- a) Compatibilidade do projeto executivo dos depósitos (DRS1 e DRS2) com a sua efetiva execução;
- b) Compatibilidade dos Depósitos de Resíduos Sólidos (DRS1 e DRS2) com a Lei Nacional de Segurança de Barragens (Lei n.º 12.334/2010);
- c) Aspectos estruturais Depósitos de Resíduos Sólidos (DRS1 e DRS2), a concepção geral do projeto, o arranjo e dimensionamento das estruturas, além de suas funcionalidades;
- d) Análise qualitativa de instrumentação com vistas a determinação da densidade de drenagem, a fim de aferir o comprometimento das águas superficiais e subterrâneas;
- e) Avaliação da compatibilidade da localização dos DRS com o projeto, obedecendo à legislação aplicável, às normas ambientais e aos critérios econômicos, geotécnicos, estruturais, sociais e de segurança e risco, mediante necessidade de segurança estrutural, bem como considerando a possibilidade de existência

INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2

- de drenagens naturais possivelmente afetadas, tais como mananciais e olhos d'água;
- f) Análise da viabilidade da concepção proposta, em termos operacionais e manutencionais, ou seja, se os processos de controle necessários à disposição dos rejeitos da forma concebida são compatíveis com a estrutura existente e consequente produção dos rejeitos, levando em consideração as condições ambientais locais;
 - g) Verificação da densidade e teor de umidade ótimo (período chuvoso e período seco) e suas variações, envolvendo valor médio e desvio padrão durante a fase de testes;
 - h) Revisão dos parâmetros geotécnicos de coesão e ângulo de atrito efetivo, a partir de ensaios de laboratório e de campo, e suas variações envolvendo valor médio e desvio padrão durante a fase de testes;
 - i) Análise de estabilidade, através de parâmetros geotécnicos (programas-slope/W1 e ensaios – Laboratórios de Geotecnia), e estanqueidade. Determinação do Fator de segurança, seu valor médio e seu grau de confiabilidade, após o período de testes;
 - j) Análise de estabilidade dos depósitos, utilizando-se como referência os fatores de segurança mínimos descritos na Norma ABNT NBR 13.028/2017, e Norma ABNT NBR 13029/2017
 - k) Revisão do projeto e disposição de drenos, filtros, medidores de vazão e seus processos executivos;
 - l) Revisão do Projeto de revestimento e monitoramento dos taludes;
 - m) Verificação do teor de umidade do material que condicionará a decisão de lançá-lo na área úmida ou aplicá-lo na área seca e suas variações ao longo do período de testes;
 - n) Interpretação dos resultados dos testes relativos à aplicação do material sobre as geomembranas;**

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
<p style="text-align: center;">INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2</p>		

- o) Interpretação dos ensaios destrutivos e não destrutivos para verificação da estanqueidade da Geomembrana;
- p) Análise e adequação da suficiência do Plano de Ação Emergencial, o qual deverá contemplar a identificação e análise das possíveis/situações de emergência; os procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura dos depósitos; os procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação; a estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência, utilizando-se como referência a Instrução Normativa nº02/2018, publicada no DOE nº 33.554, de 07 de fevereiro de 2018 e conforme estabelecido no Art. 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010.

Nesse contexto, o presente relatório apresenta os estudos realizados para atendimento do item **n)**, referido à interpretação dos resultados dos testes relativos à aplicação do material sobre as geomembranas.

2. OBJETIVO

Em atendimento ao termo de compromisso de ajustamento de conduta, Inquérito Civil - IC nº 001/2018 - MP (SIMP nº000654 -710/2018) MPPA, Inquérito Civil nº 000980 - 040/2018 (Portaria no 12/2018) MPPA, Inquérito Civil no 1.23.000.000498/2018 - 98 MPF, o presente documento abordará o item **“n) Interpretação dos resultados dos testes relativos à aplicação do material sobre as geomembranas;”** para o depósito de rejeitos DRS2.

Ao se iniciar os serviços foram realizadas reuniões com o MPPA para alinhamento do escopo das letras do TAC 3.1. Essas reuniões ensejaram no envio de um ofício elaborado

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
<p style="text-align: center;">INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2</p>		

pela FONNTES com esclarecimentos do entendimento técnico das perguntas para adequado encadeamento das atividades. Posteriormente foi recebido o “de acordo” do MPPA para elaboração dos serviços seguindo o raciocínio apresentado no ofício, que passou a ser utilizado como referência para elaboração de todos os relatórios. Vale destacar que esse esclarecimento foi muito importante para o direcionamento dos serviços, porque em alguns casos havia perguntas com temas que teriam melhor abordagem em outras letras do TAC 3.1 ou ainda em outras cláusulas que não eram escopo do presente trabalho. Abaixo é reproduzido o extrato do ofício com a explicação do entendimento para resposta da pergunta **letra N)**, objeto desse relatório.

A pergunta se refere a ensaios de interação da geomembrana com o solo de cobertura, ou seja, a determinação do ângulo de atrito entre o solo e a geomembrana. Iremos avaliar esses ensaios, caso existam, e verificar se foram considerados de forma adequada para escolha do modelo e espessura das geomembranas, assim como na determinação dos seus critérios de instalação, como comprimento de soldas e valas de ancoragem, por exemplo.

3. DADOS UTILIZADOS

Foi recebido um volume elevado de informações enviadas pela HYDRO à FONNTES. Os dados consultados efetivamente para avaliação nesse relatório são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Documentos utilizados para elaboração desse relatório

CÓDIGO	TÍTULO DO DOCUMENTO	ELABORADO POR	DATA
RT-3540-54-G-1014 R02	Relatório Técnico do Projeto “As Is”	PIMENTA DE AVILA	29/07/21

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

CÓDIGO	TÍTULO DO DOCUMENTO	ELABORADO POR	DATA
D1-3541-54-G-102- R01	Planta geral da área do DRS2	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	Nov/2015
D1-3541-54-G-104- R04	Layout - Planta	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	Nov/2015
RT-3541-54-G-360 R01	“Como Construído” do sistema de disposição de resíduos DRS2 – Fase 1	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	Jul/2018
RT-3541-54-G-451 R01	Considerações sobre o “Como construído” da estrutura inicial do DRS2 – Fase 1	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	Set/2020
ES-3541-54-G-100 R02	Especificação técnica de recebimento, aceitação e instalação da geomembrana	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	2018
DB-3541-54-G-319 R01	Memória de cálculo das análises geotécnicas do projeto detalhado do DRS2	PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA LTDA	2016

4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Durante a definição da estrutura dos documentos a serem produzidos para a auditoria foi estabelecido que todos os relatórios apresentariam capítulos básicos introdutórios, que pudessem contextualizar qualquer leitor, independentemente do acesso a outros relatórios dessa auditoria. Por isso, optou-se por reproduzir em todos os documentos um conteúdo introdutório que permita ao leitor o entendimento básico da localização, geologia e fisiografia do projeto da estrutura em avaliação. Este conteúdo introdutório comum a todos os relatórios de cada letra específica do Termo de Ajustamento de Conduta (TAC 3.1) contempla os itens 1 a 5.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

Nestes termos, o presente relatório foi organizado da seguinte forma:

- Introdução, contendo apresentação do documento e do TAC 3.1 que resultou no contrato para auditoria documental;
- Objetivos do presente documento, indicando a letra específica da TAC 3.1 que será atendida;
- Dados utilizados/consultados para o atendimento à letra específica da TAC 3.1;
- Explicações sobre a organização do documento;
- Apresentação da estrutura em estudo, nivelando o conhecimento básico do leitor sobre o tema;
- Metodologia de avaliação da letra relativa ao presente relatório;
- Desenvolvimento dos estudos relativos à letra do presente relatório;
- Considerações finais;
- Referências bibliográficas.

5. APRESENTAÇÃO DO PROJETO DA ESTRUTURA

O DRS2 foi projetado para armazenar resíduo da produção de alumina (lama vermelha) (gerado pela refinaria da ALUNORTE) depois de filtrado por filtros prensa. Na Figura 5.1 é apresentado o Layout da fase 1 (fase atual) do DRS2, o qual é constituído de:

- Reservatório de resíduo úmido;
- Reservatório de resíduo seco (com dique central e fingers);

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

- Plataforma da pilha de retomada;
- Célula de Contingência;
- Canal de contenção de sedimentos;
- Canal de adução das bacias de controle;
- Bacias de controle BC 201 e BC 202

A função de cada estrutura do DRS2 será detalhada mais adiante, neste mesmo capítulo.

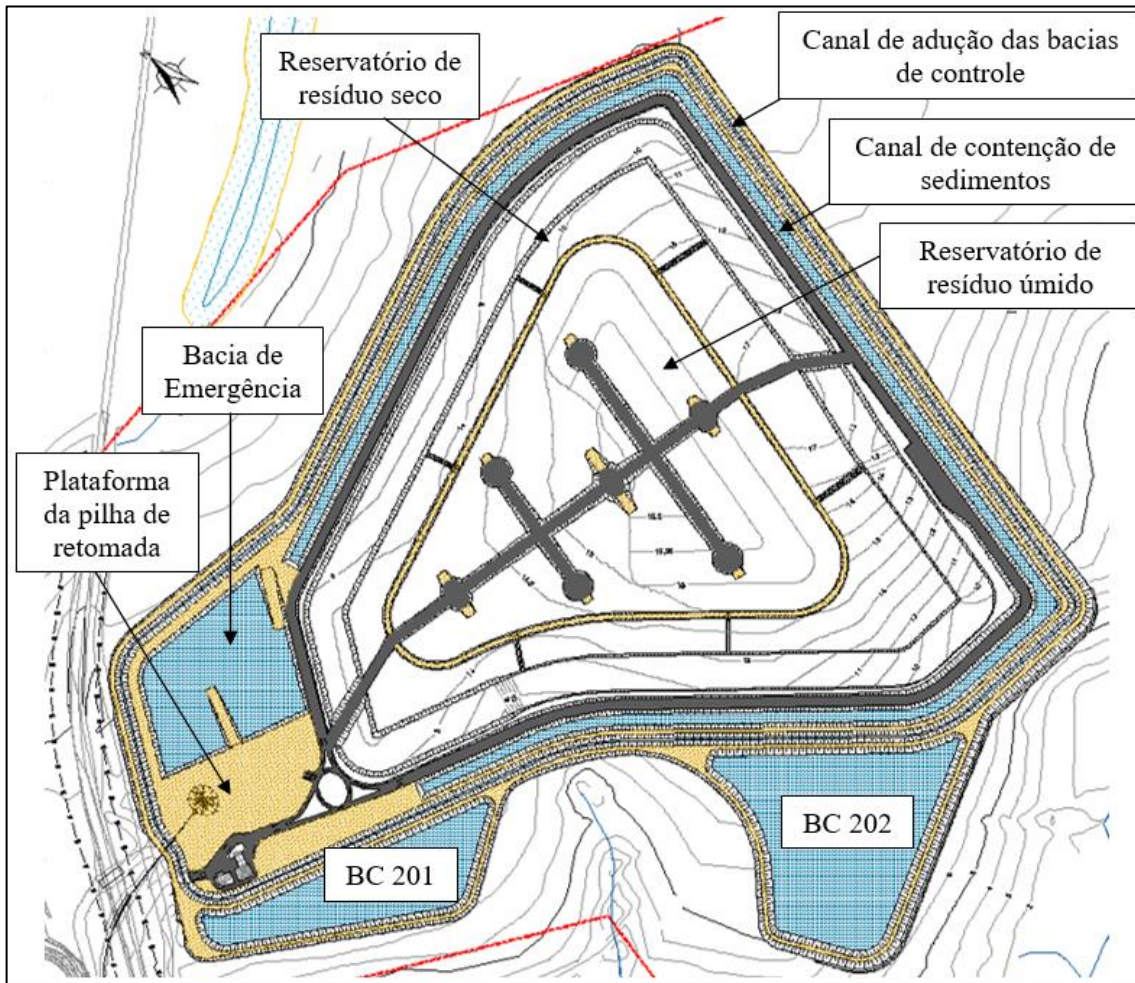
**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**


Figura 5.1 – Layout da fase 1 do DRS2 (MD-3541-54-G-096)

Neste item será apresentada a localização do depósito de resíduos sólidos DRS2 e em seguida o mesmo será caracterizado de acordo com o Memorial Descritivo do projeto detalhado do DRS2 Fase 01, documento MD-3541-54-G-096, elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria, revisão 17 de setembro de 2015. Para caracterização da estrutura também é utilizado o relatório As Built do projeto detalhado do DRS2, elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria LTDA, documento RT-3541-54-G-360 R01, revisão 01 de julho de 2018. Ressalta-se aqui que apenas a fase 01 do DRS2 DRS2 foi executada até o momento.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

5.1 LOCALIZAÇÃO

Localizado no município de Barcarena, no estado do Pará, o sistema de disposição de resíduos pertencente à ALUNORTE é composto pelos Depósitos de Resíduos Sólidos DSR1 e DSR2 e situa-se em torno das coordenadas UTM/DATUM SIRGAS 2000 754.812m E 9.828.482m S.

Os depósitos se encontram a uma distância de, aproximadamente, 120 km da capital Belém, e o acesso se dá pela rodovia estadual PA-481. A planta industrial da ALUNORTE em Barcarena apresenta influência mundial na produção de alumina, colaborando para o desenvolvimento da região.

Logo a jusante dos depósitos DRS1 e DRS2 estão localizadas a bacia hidrográfica do rio Murucupi e diversas comunidades que direta ou indiretamente possuem influência do empreendimento.

A Figura 5.2 apresenta o mapa de localização do sistema de disposição de resíduos, indicando os Depósitos DRS1 e DRS2.

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

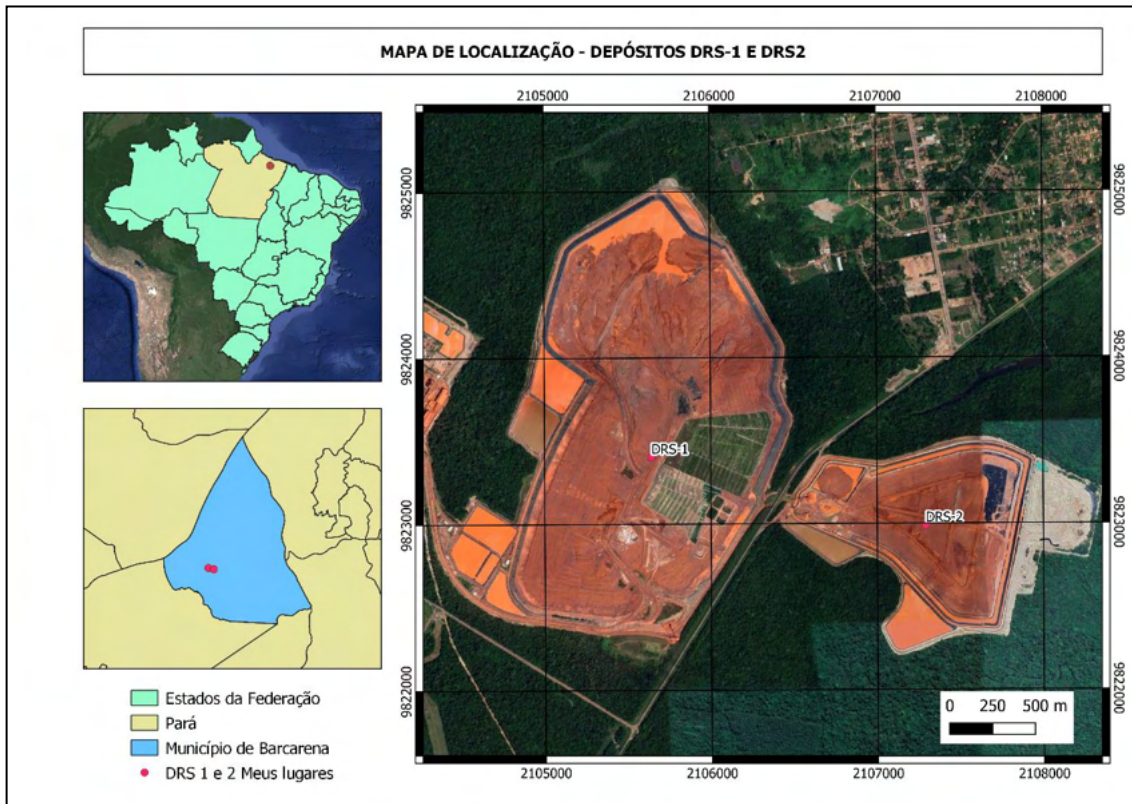


Figura 5.2 – Localização da Estrutura – DRS1 e DRS2

O município de Barcarena está localizado no bioma Amazônia, apresentando 1.310,34 km² de área (IBGE, 2021). Apresenta esgotamento sanitário adequado para 27,8% de seus habitantes (IBGE, 2010).

A estação chuvosa do município de Barcarena é compreendida entre os meses dezembro e junho, sendo que os meses em que são identificados maiores volumes precipitados se concentram entre janeiro e maio.

Segundo o levantamento censitário realizado pelo IBGE (2010), o município de Barcarena possui 99.859 habitantes, apresentando densidade demográfica de 76,21 habitantes por quilômetro quadrado. Conforme Figura 5.3, identificam-se as

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

comunidades Água Verde, Cabeceira Grande, Caravelas 1, Caravelas 2 Jardim das Palmeiras, Laranjal, Massarapó, Nazaré, Nestor Campos e Vila São Francisco.

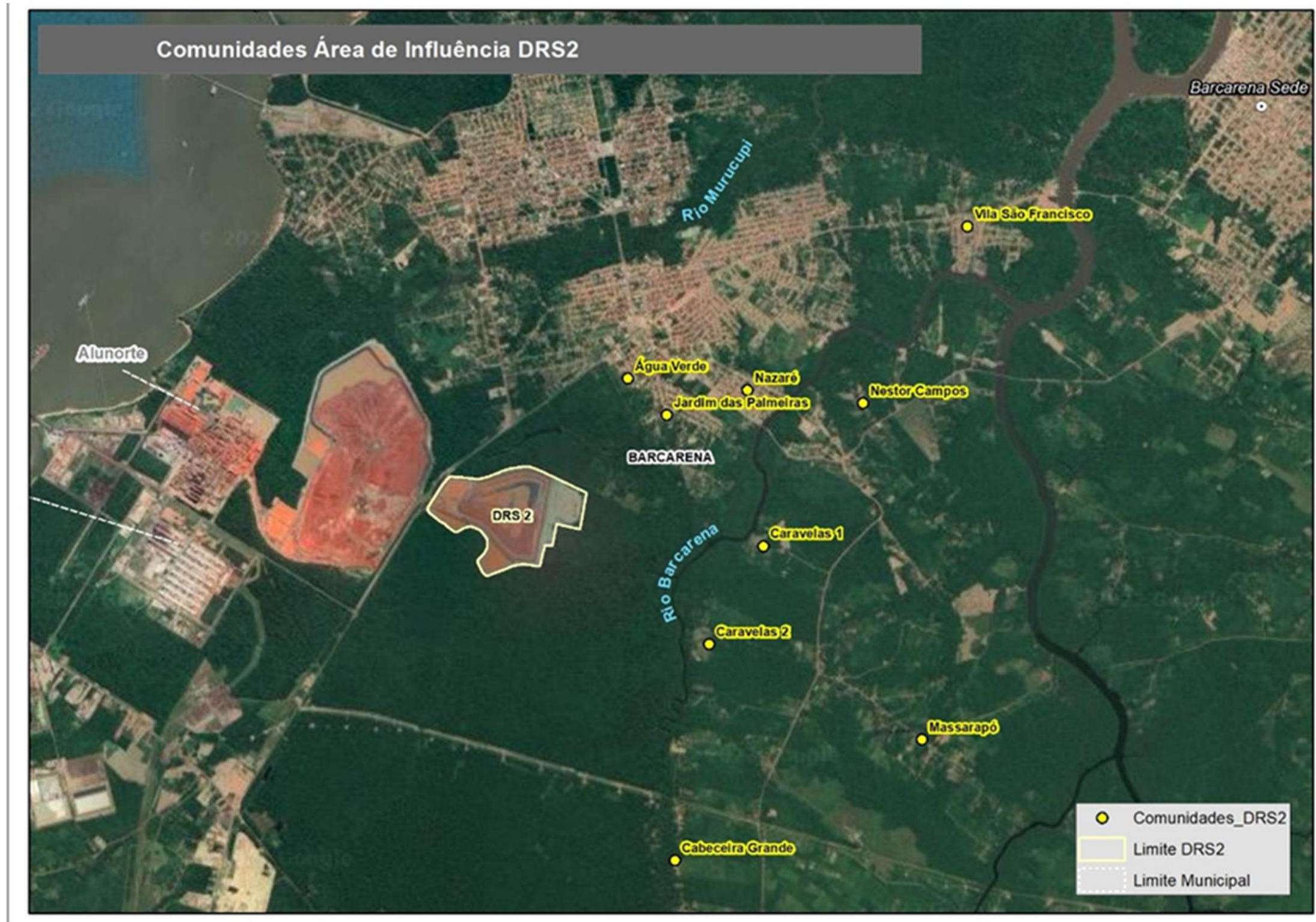


Figura 5.3 – Localização das comunidades próximas ao depósito DRS2 (Imagem fornecida pela equipe técnica da HYDRO/ALUNORTE)

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

Conforme apresentado por IBGE (2020), no ano de 2020 o salário médio mensal era de 2,8 salários-mínimos, com 22,5% da população com emprego formal. A taxa de escolarização de crianças entre 6 e 14 anos foi de 97,3% (IBGE, 2010b)

Em relação à economia do município, o PIB per capita de 2019 foi de R\$ 43.063,73, sendo 71% oriundo de fontes externas (IBGE, 2019), o IDHM do município é de 0,662 (IBGE, 2010).

A Nota Técnica “Contextualização sobre o histórico de expansões dos depósitos de resíduos sólidos – DRS1 e DRS2” (documento DT-3542-54-G-001) apresenta o histórico de implantação e expansão do DRS1 e DRS2. Esse histórico é replicado aqui visando contextualizar o leitor (Figura 5.4).

INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2

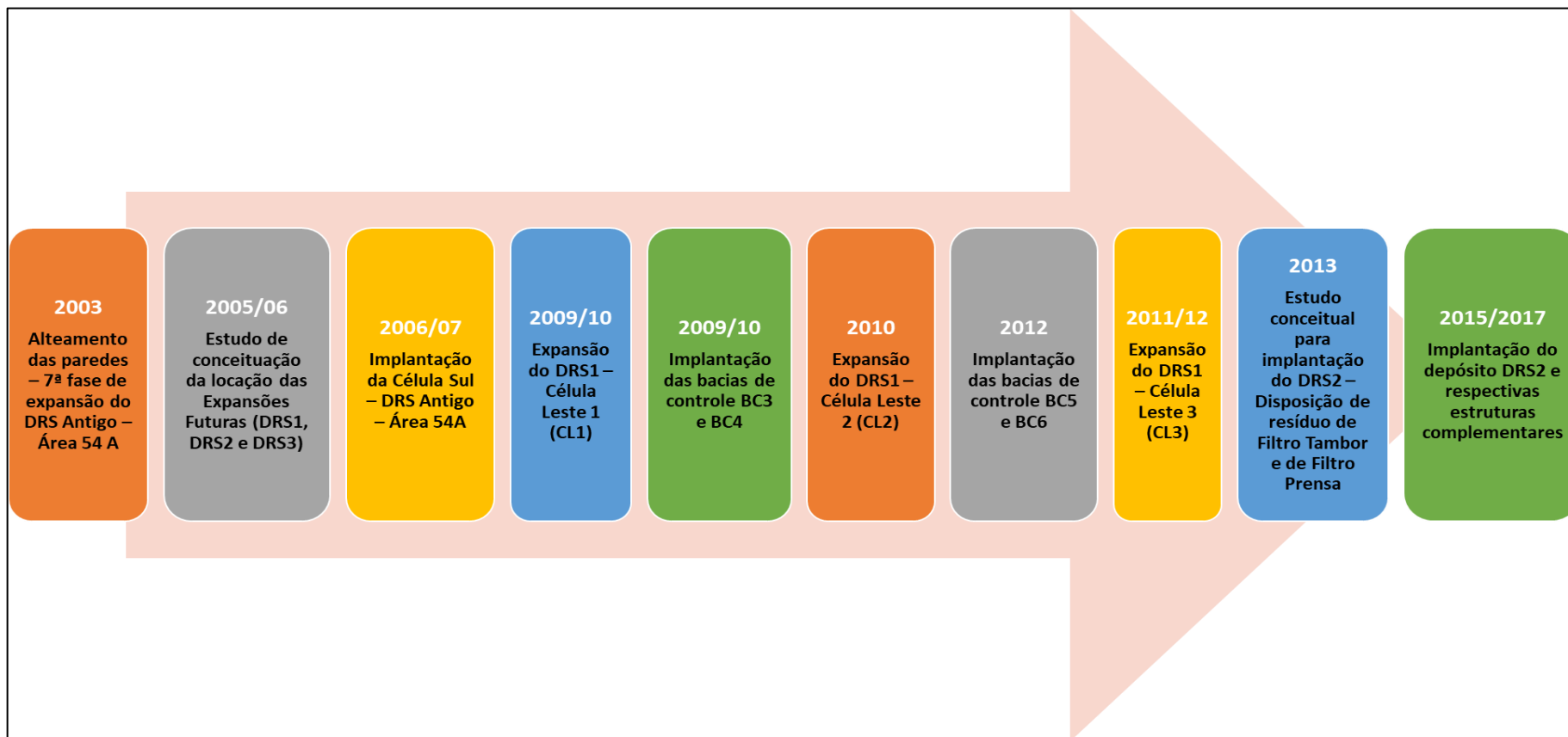


Figura 5.4 – Histórico de expansão do DRS1 e DRS2

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

A descrição das estruturas do DRS2 é apresentada a seguir com base no memorial descritivo do projeto (MD-3541-54-G-096) e relatório As Built (RT-3541-54-G-360 R01_AN-561-RL-47252-00).

5.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

5.2.1 Geologia Regional

A área de estudo encontra-se inserida no contexto dos sedimentos cenozóicos (< 65,5 milhões de anos) individualizados nas formações: Pirabas e Barreiras, bem como dos sedimentos quaternários (denominados de sedimentos pós Barreiras).

Conforme apresentado no Mapa Geológico do Estado do Pará, desenvolvido pela CPRM em 2008 (Figura 5.5), a estrutura DRS2 encontra-se sobre Sedimentos Pós-Barreiras.

Ocupando uma área de aproximadamente 12000 m², que se estende à faixa litorânea entre as cidades de Bragança e Belém avançando para o interior do Pará, a Formação Pirabas ocorre sobreposta ao embasamento cristalino (Almaraz, 1977) e é caracterizada pela composição calcária e conteúdoossilífero. A deposição se fez por evento transgressivo decorrente da subida do nível do mar em todo o planeta, durante o Mioceno (Haq et al. 1987). Sucedendo ao evento transgressivo que resultou na Formação Pirabas, ocorreu um evento de caráter regressivo o qual foi responsável pela sedimentação do Grupo Barreiras.

O Grupo Barreiras, também denominado por alguns autores de Formação Barreiras, aflora na costa brasileira, quase continuamente desde o Pará até o Rio de Janeiro. O grupo é constituído por sedimentos de origem continental pouco litificados, oriundos da ação do intemperismo e ciclos geológicos ocorridos no interior do continente após a abertura do Atlântico (MABESOONE e CASTRO, 1975). Os estratos apresentam variações

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

verticais e laterais bem marcadas que variam em níveis arenosos, argilo arenosos, conglomeráticos e ferruginosos. Os sedimentos quaternários Pós-Barreiras recobrem discordantemente essas sequências.

Admite-se como Sedimentos Pós Barreiras os depósitos que recobrem de maneira discordante os estratos da Formação Barreiras. Tratam-se de areias consolidadas e semi-consolidadas de granulometria fina a média e coloração creme amarelada a branca, podendo conter clastos e frações de argila (Farias et al. 1992). Segundo Rosseti e Valeriano (2007) a evolução desses sedimentos está relacionada a um paleovale de idade quaternária alimentado pelo Rio Tocantins, quando esse corria para oeste do seu curso atual.

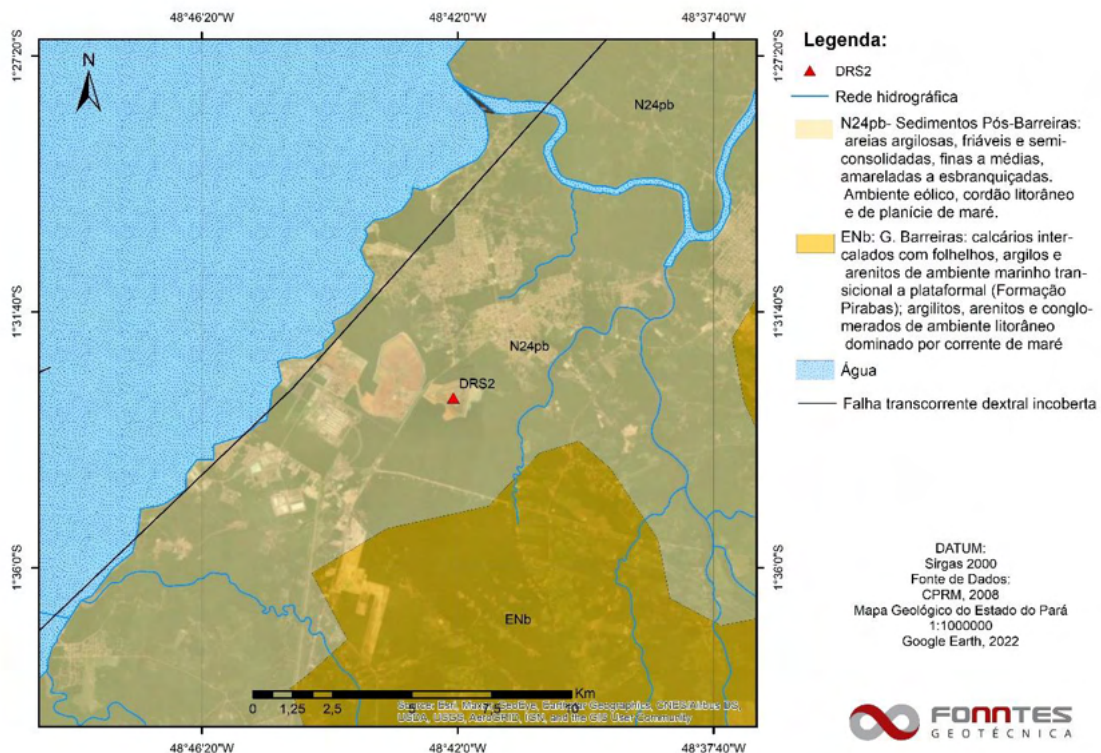


Figura 5.5 – Mapa geológico regional da estrutura DRS2

INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2

O relatório “As Is” RT-3540-54-G-1014 desenvolvido pela Pimenta de Ávila, apresenta as estruturas DRS1 e DRS2 inseridas sobre domínios da Formação/Grupo Barreiras, enquanto a Figura 5.5 indica que as duas estruturas estão inseridas sobre Sedimentos Pós-Barreiras. Levando em consideração o caráter regional do estudo, é natural que haja diferenças entre os estudos, devido principalmente a escala de 1:1.000.000 (Figura 5.5), não sendo essas consideradas inconsistências.

5.2.2 Histórico de Investigações

Com base no estudo detalhado elaborado pela Pimenta de Ávila (RT-3541-54-G-095), a Tabela 5.1 apresenta uma síntese das investigações executadas na área de estudo.

Tabela 5.1 – Tabela resumo do histórico de investigação executada na área da estrutura DRS2

CAMPANHA	EMPRESA	ANO	DOCUMENTO
Estudos conceituais e de pré viabilidade do sistema de rejeitos	-	2002	desenhos AN-306-DS-8875 a 8882
Estudos de condição de fundação	-	2011	RT-3540-54-G-366-R01
Projeto Detalhado do Desvio da PA-481	Solotécnica Engenharia	2014	Relatório AN-681-RL-38211 e desenhos AN-681-DS-38176 a 38181
Condições de fundação do traçado do <i>pipe conveyor</i>	Sondacil	2014	Anexo 3 do relatório (RT-3541-54-G-095), fornecido pela empresa Hatch

De acordo com a Hydro, não houve premissas que justificassem a necessidade de execução de sondagens complementares na área próxima à estrutura DRS2, além das executadas para fomentar a execução do projeto.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

É de conhecimento que a área de implantação não pode ser perfurada, uma vez que a estrutura é protegida por geomembrana e caso haja necessidade, as investigações deverão ser locadas próximo ao DRS2 em um contexto estratigráfico e geomorfológico semelhante. As investigações geológico-geotécnicas podem ocorrer durante toda a vida útil de uma estrutura, partindo de premissas tais como: necessidade de reavaliação da estratigrafia da fundação e/ou modificações no projeto.

5.2.3 Geologia Local

Nesse subitem é apresentada uma síntese do estudo de geologia local desenvolvido no relatório “As Built” RT-3541-54-G-095 elaborado pela empresa Pimenta de Ávila.

A fundação da estrutura DRS2 pode ser dividida em 3 horizontes distintos, sendo eles: horizonte superior, horizonte intermediário e horizonte inferior.

O horizonte superior é caracterizado por siltes arenosos de coloração variada, e pode ser dividida em subhorizontes superior e inferior, sendo o primeiro constituído por siltes arenosos de compactidade fofa e NSPT menores que 5 golpes. O subhorizonte inferior apresenta características semelhantes ao superior (compactidade fofa e coloração amarelada), porém com valores de NSPT variando entre pouco a medianamente compacto, variando entre 5 a 16 golpes.

O horizonte intermediário é constituído por camada arenosa de coloração variada e NSPT com grande variação, desde 10 golpes até o impenetrável (areias mais finas). Apresenta granulometria variando de fina a grossa e camada com espessura de 5 a 18 metros.

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

Sotoposto ao horizonte intermediário, encontra-se o horizonte inferior, que se caracteriza por apresentar textura silto-arenosa a areno siltosa, coloração varada e compactidade rija a dura (NSPT variando entre 47 a 60 golpes).

A Figura 5.6 apresenta a seção típica da área de estudo.

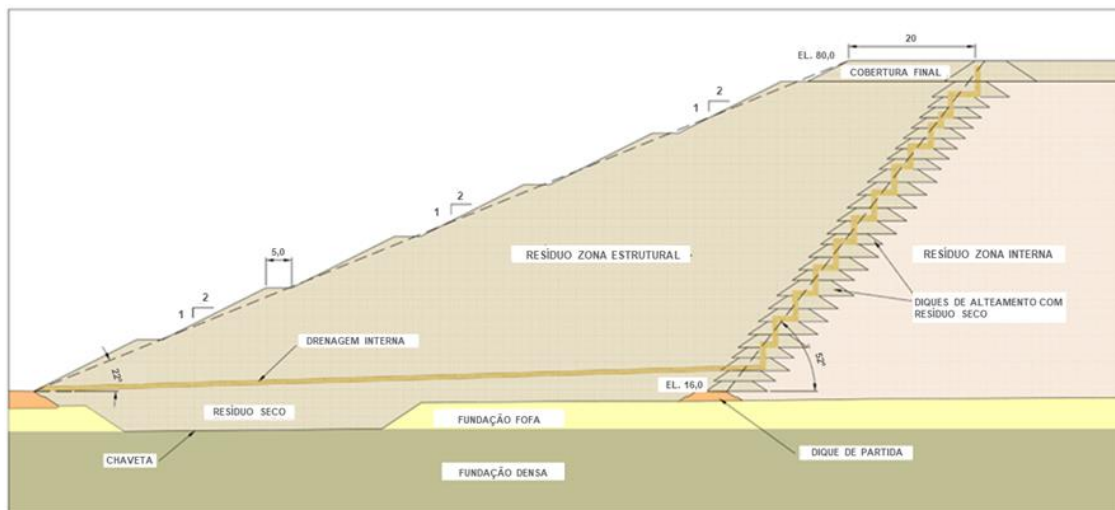


Figura 5.6 – Seção transversal típica do DRS2 (Fonte: RT-469137-54-G-0002)

5.3 PLATAFORMA DA PILHA DE RETOMADA DO RESÍDUO E CÉLULA DE CONTINGÊNCIA

A plataforma da pilha de retomada de resíduo para disposição no DRS2 foi projetada na El. 16,0 m, com área em planta de cerca de 49.900 m².

A Célula de Contingência foi projetada para receber resíduo em condições de umidade extremamente elevadas. Tendo em vista que elevada umidade impossibilitaria a sua disposição por meio de espalhamento com trator de esteiras. Foi prevista crista na El. 16,0 m e fundo com elevação variável em torno da EL. 11,0 m, área em planta de cerca de 48.500 m², taludes de montante com inclinação 1V:1,5H e volume de

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

armazenamento de aproximadamente 199.483 m³ de resíduo “super úmido”. A Célula de Contingência é apresentada na Figura 5.7.



Figura 5.7 – Célula de Contingência

5.4 CANAIS DE CONTORNO E BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)

O sistema de proteção e condução das águas pluviais do DRS2 é formado por dois canais de contorno associados a duas bacias de controle denominadas BC 201 e BC 202.

Conforme memorial descritivo (MD-3541-54-G-096), em função dos estudos hidrogeológicos obtidos da área, foi definido que a cota de escavação do fundo das Bacias de Controle (BC 201 e BC 202) seria na El. 9,0 m.

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

O canal implantado adjacente ao reservatório de resíduos, denominado canal de contenção de sedimentos, apresenta cerca de 15m de largura da base, taludes com inclinação de 1V:1,5H, e fundo na elevação 11,0m (Figura 5.8). Tem como objetivo conter os sedimentos provenientes da drenagem da pilha, que porventura sejam carreados para o canal.



Figura 5.8 – Canal de contorno adjacente ao DRS2

O segundo canal (canal de adução das bacias), adjacente ao canal de contenção de sedimentos, possui cerca de 3m de largura de base, taludes com inclinação de 1V:1,5H, e fundo na elevação 10,5m. Contorna toda a área do depósito e tem como objetivo receber os efluentes a partir do canal de contenção de sedimentos e conduzi-los até as

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

bacias de controle BC 201 e BC 202, de onde o efluente é bombeado para a estação de tratamento.

O controle do fluxo de efluente do depósito para os canais e bacias é feito através de extravasores distribuídos ao longo dos diques de contorno.

A bacia de controle BC 201 tem uma área de cerca de 34.585 m² de fundo, taludes 1V:1,5H, crista na elevação 15,50 m e fundo na elevação 9,00 m. Possui um volume total de 258.129 m³. Já a BC 202 tem uma área de cerca de 65.301 m² de fundo, taludes 1V:1,5H, crista na elevação 15,50 m e fundo na elevação 9,00 m, perfazendo um volume total de 463.201 m³.

A partir das bacias de controle o efluente é bombeado para a estação de tratamento.

5.5 DIQUE DE CONTORNO

O dique de contorno do reservatório é utilizado como acesso de operação. Apresenta borda interna da crista na El. 16,0 m, largura da crista de 13,0 m, com inclinação para as duas laterais.

5.6 DIQUE ENTRE CANAL DE CONTENÇÃO DE SEDIMENTOS E CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE

O dique entre canal de contenção de sedimentos e canal de adução das bacias de controle possui crista na El. 16,0, com 5,8 m de largura e inclinação para dentro do canal de contenção de sedimentos. Taludes de montante e jusante com inclinação de 1V:1,5H. Apresenta revestimento de laterita na crista.

5.7 DIQUE EXTERNO DO CANAL DE ADUÇÃO DAS BACIAS DE CONTROLE

O dique externo do canal de adução das bacias de controle possui crista na El. 15,5, com 7,8 m de largura e inclinação para dentro do canal. Taludes de montante e jusante com inclinação de 1V:1,5H. Apresenta revestimento de laterita na crista. A Figura 5.9 indica a localização de cada um dos diques supracitados.



Figura 5.9 – Identificação do dique externo, dique entre canal de adução e canal de contenção de sedimentos e dique de contorno e acesso de operação.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
<p style="text-align: center;">INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2</p>		

5.8 DIQUE EXTERNO DAS BACIAS DE CONTROLE (BC 201 E BC 202)

O dique externo das bacias de controle possui crista na El. 15,5, com 5,8 m de largura e inclinação para dentro das bacias. Taludes de montante e jusante com inclinação de 1V:1,5H.

5.9 DIQUE DE CONTENÇÃO DA ÁREA ÚMIDA (INFRAESTRUTURA INICIAL)

O dique de contenção da área úmida apresenta crista na EL. 16,0 m, com 5,9 m de largura e extensão de cerca de 2.038,37 m. Possui revestimento de laterita na crista, bem como 6 aberturas com 3m de largura na base que servem de extravasores.

5.10 DIQUE CENTRAL E FINGERS (INFRAESTRUTURA INICIAL)

Foram projetados dique central e fingers dentro da área destinada à disposição de resíduo úmido, para possibilitar o acesso de caminhões que levarão o resíduo a ser disposto nesta área. Os Fingers foram implantados nos bordos direito e esquerdo do dique central, sendo nomeados 1D e 1E e 2D e 2E. Na ponta dos fingers e em alguns pontos do dique central foram previstas áreas circulares para manobra dos caminhões, posicionamento e lançamento do resíduo para dentro do reservatório. Nestas áreas circulares, foram previstas rampas para a descida de tratores de esteira que promovem o espalhamento do resíduo.

O dique central possui cota de crista variável entre as EL. 16,0m e EL. 20,21 m, com 15,4 m de largura e extensão de cerca de 620,0 m. Os *fingers* possuem cota de crista variável entre a EL. 15,7 m e a EL. 19,8 m, com 15,4 m de largura e extensão total de cerca de 647,0 m. O revestimento na crista do dique central e fingers ficou a cargo da ALUNORTE e não é apresentado no memorial descritivo (MD-3541-54-G-096).

Durante a visita técnica, foi possível identificar a conformação inicial do Dique central e fingers (infraestrutura inicial do DRS2), estando apresentada na Figura 5.10.



Figura 5.10 – Dique central e fingers – infraestrutura inicial do DRS2

5.11 SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

O DRS2 conta com um sistema simples de barreira impermeabilizante, constituído por geomembrana PEAD com espessura de 1,5 mm, nos taludes de montante e fundo do reservatório, canais, bacias, plataforma da pilha de retomada e na crista dos diques de contorno e dique de contenção da área úmida.

Para proteção da geomembrana quanto ao puncionamento por qualquer material pontiagudo que possa existir nas áreas de aterro e de terreno natural que ela cobrirá, nos taludes foi instalado, sob a geomembrana, geotêxtil não tecido de gramatura igual

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

a 400g/m² e, no fundo do reservatório, das bacias e do canal de contenção de sedimentos, a geomembrana estará sobre uma camada de 7,0 cm de areia.

Na crista do dique de contorno, que servirá de acesso ao reservatório do DRS2, onde haverá trânsito de veículos, como caminhões carregados de resíduo, foi aplicada geomembrana texturizada nas duas faces, que proporciona maior atrito na interface com o solo, e sobre ela uma camada de 1 m de solo sem pedregulhos, de forma a evitar que o tráfego promova danos à geomembrana. Sobre a camada de solo foi projetado a aplicação de asfalto. Durante a visita técnica esse último ainda não havia sido executado.

De acordo com o memorial descritivo, na crista do dique de contenção da área úmida a configuração é a mesma, exceto que a espessura da camada de solo sem pedregulhos sobre a impermeabilização seria de 0,75 m e logo acima uma camada de 0,25 m de espessura de laterita.

Na área da plataforma da pilha de retomada, também foi utilizada geomembrana texturizada nas duas faces, e sobre ela uma camada de 0,75 m de solo sem pedregulhos, com 0,25 m de laterita por cima, tendo sido delimitada pela ALUNORTE a área asfaltada.

Na área do reservatório do DRS2 onde é disposto o resíduo em período de estiagem também foi prevista a aplicação de geomembrana de 1,5 mm de espessura, texturizada nas duas faces.

5.12 DRENAGEM INTERNA DA PILHA

Segundo o memorial descritivo, o sistema de drenagem interna foi previsto ser implantado quando a pilha de resíduo atingir a elevação 16 m, ou seja, a borda do dique de contorno. Consiste em drenos transversais, espaçados de 10 m entre si, de seção retangular de 0,60 m por 0,40 m de seixo rolado, envolto por geotêxtil e uma camada de 0,15 m de areia média. A função dos drenos é conduzir o fluxo de água interno da pilha, da área úmida até a crista do dique de contorno da área seca, com declividade de 2%, evitando assim a saturação da zona estrutural da pilha. A água proveniente dos drenos é coletada pela canaleta do dique de contorno, de onde segue o fluxo de efluentes até as bacias de controle.

A Figura 5.11 e Figura 5.12 ilustram a seção e detalhe típicos dos drenos.

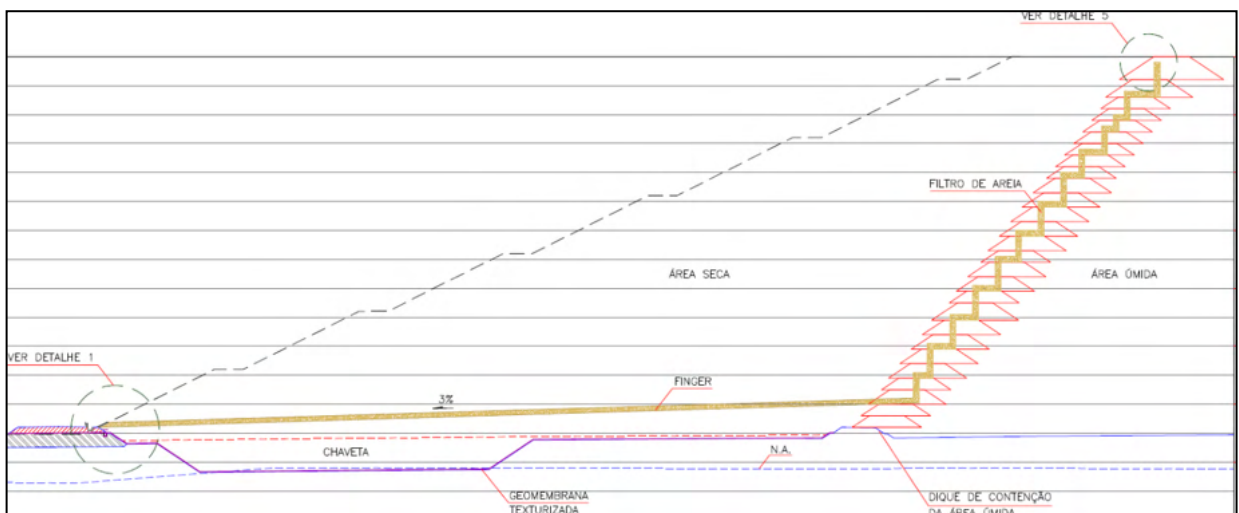


Figura 5.11 – Seção Típica – Drenagem interna da pilha (documento D1-3541-54-G-163)

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

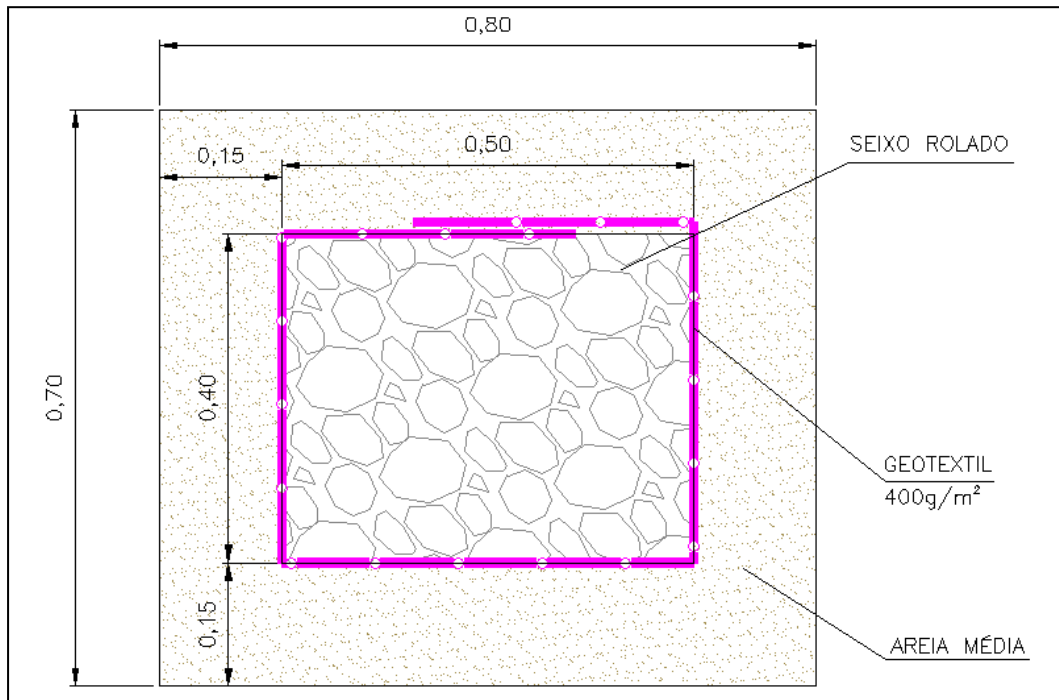


Figura 5.12 – Detalhe Típico – Drenos (D1-3541-54-G-163)

5.13 INSTRUMENTAÇÃO

Para permitir o monitoramento das condições geotécnicas da pilha de resíduo filtrado do DRS2, foi prevista a instalação de instrumentação geotécnica, a saber:

- 20 Inclinômetros: aplicável para medição de deslocamentos horizontais em profundidade;
- 07 Piezômetros Casagrande e 19 piezômetros elétricos de corda vibrante: medição da poropressão na fundação e no interior da pilha durante a construção da mesma;
- 10 Marcos superficiais: monitoramento dos deslocamentos horizontais e verticais na superfície.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
<p style="text-align: center;">INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2</p>		

5.14 SISTEMA EXTRAVASOR

O sistema de controle das águas no interior do DRS2, até a El. 16m (Fase 1) é desenvolvido de 2 maneiras distintas, a saber:

1. Por meio de sistema de bombeamento – corresponde ao controle das águas no interior do DRS2 abaixo da El. 14,0 m (elevação da soleira dos extravasores), ou seja, no trecho em que não é possível o escoamento das águas do interior do depósito pelos extravasores para os canais/bacias;
2. Por meio de extravasores – corresponde ao controle das águas no interior do DRS2 entre a El. 14,0 m a 16,0 m.

No DRS2 - Fase 1, foram projetados 22 extravasores em concreto armado no dique de contorno, com soleira na El. 14,00 m (planta de locação dos extravasores: D1-3541-54-C-039).

Entre o canal de contenção de sedimentos e o canal de adução é prevista a implantação 4 extravasores tipo galeria, controlado por stop-logs

Entre o canal de adução e as bacias de controle existem 2 extravasores tipo galeria, controlado por stop-logs, localizados nos seguintes pontos:

- Canal de adução ligando à BC 201;
- Canal de adução ligando à BC 202;

Para facilitar a operação dos stop logs nos extravasores (soleira El. 14,00 m), foram projetados pórticos com dispositivo de içamento instalados em cada extravasor.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

O controle do Nível de água na Célula de Contingência é feito por meio de bombeamento, abaixo da elevação 14 m, e por meio de extravasor em concreto dotado de stop logs entre as elevações 14 m e 16 m.

5.15 GALERIA DE TRANSPOSIÇÃO DO CANAL DE ADUÇÃO

Na região da entrada para o DRS2 de acordo com descritivos documentos consultados, foi implantada uma galeria em concreto com dimensões internas de 3,0 x 4,0m para transposição do canal de adução.

5.16 DRENAGEM SUPERFICIAL

Na concepção do sistema de drenagem superficial foram utilizadas canaletas retangulares em concreto, sendo designadas por CR (canaleta retangular), na área da plataforma, e por CRP (canaleta retangular periférica) no pé da pilha a ser construída.

A drenagem superficial periférica da pilha de resíduo desemboca nos extravasores (rápidos), enquanto a drenagem superficial da plataforma desemboca na Célula de Contingência ou no canal de adução, em função da localização do dispositivo de drenagem.

5.17 PROJETO AS BUILT

O relatório As Built/Como Construído elaborado pela Pimenta de Ávila Consultoria LTDA (RT-3541-54-G-360 R01, revisão 01 de julho de 2018) foi elaborado após a implementação da primeira fase do DRS2 e apresenta pequenas divergências entre o projeto e o que foi executado. Ressalta-se que até o presente momento, apenas a

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

primeira fase do DRS2 foi implementada. Segundo o relatório *As Built* (documento RT-3541-54-G-360 R01), não foram identificados documentos que evidenciem as seguintes ações durante a execução do projeto:

- Escavação e remoção de material fofo, nas áreas que posteriormente receberam o aterro dos diques;
- Escavação e remoção de material fofo, na região da chaveta.
- Ensaio de caracterização de resistência do concreto moldado in loco, e atualização de cotas, medidas etc., das estruturas de concreto dos extravasores.
- Execução de camada de geotêxtil e tapete de areia sob a geomembrana.

Entretanto, no documento “considerações sobre o ‘Como Construído’ da infraestrutura inicial do DRS2- Fase 1” (RT-3541-54-G-451 R01), é informado que as mudanças do projeto foram ajustes de execução por decorrência de necessidades identificadas durante a implantação, concluindo que “As obras executadas para a construção da estrutura inicial de disposição do DRS2 – Fase 1 atendem às exigências e premissas estabelecidas em projeto, tornando o depósito apto para disposição de resíduos”.

6. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

No início dos trabalhos foram realizadas reuniões com o MP-PA com objetivo de alinhamento sobre o entendimento do escopo das letras do TAC 3.1. Um ofício foi elaborado pela FONNTES e direcionado ao MP-PA (protocolo PR-PA-00011706/2022 em 16 de março de 2022) com o entendimento da metodologia para resposta técnica de cada uma das letras do TAC 3.1. O “de acordo” ao entendimento foi encaminhado pelo MP-PA pelo Ilmo. Procurador da República Dr. Ricardo Augusto Negrini no dia 04 de abril

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

de 2022. A metodologia estabelecida para o atendimento da letra N), objeto desse relatório, e reproduzida a seguir.

A pergunta se refere a ensaios de interação da geomembrana com o solo de cobertura, ou seja, a determinação do ângulo de atrito entre o solo e a geomembrana. Iremos avaliar esses ensaios, caso existam, e verificar se foram considerados de forma adequada para escolha do modelo e espessura das geomembranas, assim como na determinação dos seus critérios de instalação, como comprimento de soldas e valas de ancoragem, por exemplo.

A pergunta se refere a ensaios de interação da geomembrana com o solo de cobertura, ou seja, a determinação do ângulo de atrito entre o solo e a geomembrana. Iremos avaliar esses ensaios, caso existam, e verificar se foram considerados de forma adequada para escolha do modelo e espessura das geomembranas, assim como na determinação dos seus critérios de instalação, como comprimento de soldas e valas de ancoragem, por exemplo.. Caso existam, os mesmos serão avaliados e será verificado se foram considerados de forma adequada para escolha do modelo e espessura das geomembranas, assim como na determinação dos seus critérios de instalação, como comprimento de soldas e valas de ancoragem.

É apresentado inicialmente as características físicas dos materiais geossintéticos envolvido na solução de projeto e posteriormente foi realizado um cálculo a partir dos dados de projetos e da metodologia proposta por VETERMATTI (2015), disponível no “Manual Brasileiro de Geossintéticos” para avaliação dos materiais projetados para impermeabilização.

7. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Conforme apresentado no item 5.11, o DRS2 conta com um sistema simples de barreira impermeabilizante, constituído por geomembrana PEAD lisa e texturizada, com

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

espessura variando entre 1,5 mm e 1,0 mm, sendo este material compatível para o tipo de resíduo para a finalidade de impermeabilização. A seguir é apresentada cada área do depósito em que cada geomembrana é aplicada

Geomembrana PEAD espessura 1,5 mm lisa → Nos trechos os quais estarão em contato com o resíduo, quais sejam, taludes de montante e fundo do reservatório. A geomembrana estará sobreposta a um geotêxtil não tecido com gramatura de 400g/m² e sotoposta com a uma camada de 7,0cm de areia, visando evitar puncionamento por qualquer material pontiagudo presente no solo ou no resíduo.

Geomembrana PEAD espessura 1,5 mm texturizada → Nos trechos onde há tráfego de veículos, quais sejam, a crista do dique de contorno, locais para disposição de resíduo durante o período de estiagem e plataforma de retomada de resíduo. A geomembrana estará sotoposta a uma camada de 1,0m de solo sem pedregulhos, para evitar que o tráfego promova danos à geomembrana. A característica texturizada tem a finalidade de aumentar o atrito na interface com o solo.

Geomembrana PEAD espessura 1,0 mm lisa → Nos trechos onde **não há tráfego** de veículos e/ou contato com os resíduos, qual seja, nos taludes de jusante do canal de contorno e das bacias. Essa geomembrana poderá ser substituída por vegetação de grama em placa, conforme indicado no projeto e manual especificação técnica (documentos ES-3541-54-G-100 R02 e OM-3541-54-G-282 R08).

A especificação técnica de recebimento, aceitação e instalação da geomembrana do DRS2 (documento ES-3541-54-G-100 R02) apresenta as especificações técnicas de cada uma das geomembranas e geotêxtil supracitados. Nos itens a seguir são apresentadas as especificações de cada material geossintético utilizado.

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**
7.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS GEOSSINTÉTICOS IMPLANTADOS NO DRS2
7.1.1 Geomembrana de PEAD Face Lisa

As propriedades das geomembranas PEAD lisas utilizadas recomendadas no projeto do DRS2 são apresentadas na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Propriedades das geomembranas PEAD lisas (ES-3541-54-G-100)

Propriedade	Valores		Método de Ensaio	Frequência Mínima dos Ensaios
1. Espessura mínima	1,0 mm	1,5 mm	ASTM D 5199	Por bobina
2. Densidade Mínima (g/cm ³)	0,940	0,940	ASTM D 792 – Método B ou ASTM D 1505	90.000 kg
3. Propriedades Mínimas de Resistência à Tração – Ensaio Índice [Nota 1]:			ASTM D 6693 Tipo IV	9.000 kg
3.1. Tensão de Escoamento	15 kN/m	22 kN/m		
3.2. Alongamento no Escoamento	12%	12%		
3.3. Tensão na Ruptura	27 kN/m	40 kN/m		
3.4. Alongamento na Ruptura	700%	700%		
4. Resistência ao Rasgo Mínima	125 N	187 N	ASTM D 1004	20.000 kg
5. Resistência ao Puncionamento Mínima	320 N	480 N	ASTM D 4833	20.000 kg

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

Propriedade	Valores		Método de Ensaio	Frequência Mínima dos Ensaios
6. Fissuramento sob Tensão	≥ 400 hr	≥ 400 hr	ASTM D 5397 Appendix	Por lote de geomembrana fabricada
7. Teor Negro de Fumo	2% - 3%	2% - 3%	ASTM D 1603 ou ASTM D 4218	9.000 kg
8. Dispersão de Negro de Fumo	[Nota 2]	[Nota 2]	ASTM D 5596	20.000 kg
9. Tempo de Oxidação Indutiva (OIT) Standard (200°C, 1 atm O ₂)	≥ 100 min.	≥ 100 min.	ASTM D 3895	90.000 kg
10. Envelhecimento no Forno a 85° C com OIT Standard: % retida a 90 dias [Nota 3]	≥ 55%	≥ 55%	ASTM D 5721 ASTM D 58853895	Por formulação
11. Resistência UV [Nota 4] com OIT Alta Pressão: % retida após 1600 horas	≥ 50%	≥ 50%	ASTM D7238 ASTM D 5885	Por formulação
12. Índice de Fluidez [Nota 5]	< 1,0 g/10 min.	< 1,0 g/10 min.	ASTM D 1238 190° C, 2,16 kg	-

Notas:

- [Nota 1]: A média dos valores na direção da máquina (MD – Machine Direction) e na direção transversal à máquina (XMD – Cross Machine Direction) deve estar baseada em ensaios com 5 amostras em cada direção.
- [Nota 2]: A Dispersão de Negro de Fumo para 10 amostras deverá apresentar: 9 amostras na categoria 1 ou na 2 e uma amostra na categoria 3.
- [Nota 3]: É recomendável avaliar a porcentagem retida a 30 e a 60 dias, para comparação com a resposta da amostra a 90 dias.
- [Nota 4]: A condição de ensaio deverá ser ciclos alternados de 20 horas de exposição aos raios UV à 75º C, seguidas de 4 horas de condensação à 60º C.
- [Nota 5]: Propriedade da resina de PEAD usada na fabricação da geomembrana.

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
 GEOMEMBRANA DO DRS2**
7.1.2 Geomembrana de PEAD Face Texturizada

As propriedades das geomembranas PEAD de face texturizada recomendadas no projeto do DRS2 são apresentadas na Tabela 7.2.

Tabela 7.2– Propriedades da geomembrana PEAD texturizada (ES-3541-54-G-100)

Propriedade	Valores	Método de Ensaio	Frequência Mínima dos Ensaios
1. Espessura mínima	1,5 mm	ASTM D 5994	Por bobina
2. Altura mínima da textura [Notas 1 e 2]	0,40 mm [Nota 3]	ASTM D 7466	Cada duas bobinas
3. Densidade Mínima (g/cm³)	0,940	ASTM D 792 – Método B ou ASTM D 1505	90.000 kg
4. Propriedades Mínimas de Resistência à Tração – Ensaio Índice [Nota 4]:		ASTM D 6693 Tipo IV	9.000 kg
4.1. Tensão de Escoamento	22 kN/m		
4.2. Alongamento no Escoamento	12%		
4.3. Tensão na Ruptura	16 kN/m		
4.4. Alongamento na Ruptura	100%		
5. Resistência ao Rasgo Mínima	187 N	ASTM D 1004	20.000 kg
6. Resistência ao Puncionamento Mínima	400 N	ASTM D 4833	20.000 kg

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

Propriedade	Valores	Método de Ensaio	Frequência Mínima dos Ensaio
7. Fissuramento sob Tensão	≥ 400h	ASTM D 5397 Appendix	Por lote de geomembrana fabricada
8. Teor Negro de Fumo	2% - 3%	ASTM D 1603 ou ASTM D 4218	9.000 kg
9. Dispersão de Negro de Fumo	[Nota 5]	ASTM D 5596	20.000 kg
10. Tempo de Oxidação Indutiva (OIT) Standard (200°C, 1 atm O ₂)	≥ 100 min.	ASTM D 3895	90.000 kg
12. Envelhecimento no Forno a 85° C com OIT Standard: % retida a 90 dias [Nota 6]	≥ 55%	ASTM D 5721 ASTM D 3895	Por formulação
14. Resistência UV [Nota 7] com OIT Standard	NR	ASTM D7238 ASTM D 3895	Por formulação
15. Resistência UV com OIT Alta Pressão: % retida após 1600 horas [Nota 8]	≥ 50%	ASTM D7238 ASTM D 5885	Por formulação
15. Índice de Fluidez [Nota 9]	< 1,0 g/10 min.	ASTM D 1238 190° C, 2,16 kg	-

Notas:

- [Nota 1]: De cada 10 leituras: 8 em cada 10 devem ser ≥ 0,35 mm, e a menor leitura individual deve ser ≥ 0,30 mm.
 - [Nota 2]: Para textura nas duas faces as medidas dos lados devem ser alternadas.
- [Nota 3]: A altura mínima da textura deverá ser validada após a avaliação da estabilidade da pilha com os resultados de ensaios de resistência de interface entre a geomembrana texturizada a ser utilizada e o material que será colocado sobre ela.
- [Nota 4]: A média dos valores na direção da máquina (MD – Machine Direction) e na direção transversal à máquina (XMD – Cross Machine Direction) deve estar baseada em ensaios com 5 amostras em cada direção.
- [Nota 5]: A Dispersão de Negro de Fumo para 10 amostras deverá apresentar: 9 amostras na categoria 1 ou na 2 e uma amostra na categoria 3.

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

- [Nota 6]: É recomendável avaliar a porcentagem retida a 30 e a 60 dias, para comparação com a resposta da amostra a 90 dias.
- [Nota 7]: A condição de ensaio deverá ser ciclos alternados de 20 horas de exposição aos raios UV à 75º C, seguidas de 4 horas de condensação à 60º C.
- [Nota 8]: A resistência ao UV é baseada no valor da porcentagem retida, não considerando o valor original do OIT alta pressão
 - [Nota 9]: Propriedade da resina de PEAD usada na fabricação da geomembrana.

7.1.3 Geotêxtil Não Tecido

As propriedades do geotêxtil não tecido recomendados no projeto do DRS2 são apresentadas na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 – Propriedades do geotêxtil não tecido

	Propriedades	Normas	Unidade	Valores Mínimos
PROP. MECÂNICAS	Resistência à Tração – Faixa Larga			
	Valor na ruptura – T	ABNT	kN/m	21
	Alongamento – T		%	> 70
	Valor na ruptura – L	NBR 10.319	kN/m	19
	Alongamento – L		%	> 70
	Resistência ao Rasgo Trapezoidal			
	Transversal – T	ASTM D 4533	N	540
Longitudinal – L	N		620	
PROP. HIDRÁULICAS	Resistência ao Puncionamento	ABNT NBR 12.236	kN	3,60
	Permissividade	ASTM D 4491	s ⁻¹	1,02
	Permeabilidade Normal	ASTM D 4491	cm/s	0,4
	Transmissividade	ASTM D 4716	m ² /s	1,5 x 10 ⁻⁵
	Abertura de filtração (O ₉₅)	AFNOR G 38017	µm	80

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

	Propriedades	Normas	Unidade	Valores Mínimos
PROP. FÍSICAS	Matéria Prima			100% Polipropileno
	Ponto de fusão			165° C
	Gramatura	ABNT NBR 9.864	g/m ²	400

7.1.4 Propriedades dos Acessórios

O fio de solda e o perfil de PEAD (inserto), acessórios utilizados na instalação da geomembrana PEAD, devem atender as propriedades relacionadas na Tabela 7.4. O inserto deverá apresentar ancoragem em três pontos, para garantir uma melhor fixação na estrutura de concreto.

Tabela 7.4– Propriedades dos Acessórios: Fio de solda e Perfil de PEAD (inserto)

Propriedade	Valor	Método Ensaio
Densidade Mínima	≥ 0,940 g/cm ³	ASTM D 792 – Método B ou ASTM D 1505
Teor de Negro de Fumo	2% - 3%	ASTM D 1603 ou ASTM D 4218
Índice de Fluidez [nota]	< 1,0 g/10 min.	ASTM D 1238 190° C, 2,16 kg

- **Nota: Propriedade da resina de PEAD, usada na fabricação da geomembrana e dos acessórios.**

7.2 DEFORMAÇÕES DA GEOMEMBRANA

A memória de cálculo das análises geotécnicas do projeto detalhado do DRS2 (documento DB-3541-54-G-319 R01) apresenta os resultados das análises numéricas realizadas pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) por meio do *software* Sigma/w que

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

compõe o pacote do Geostúdio versão 7.23 da *Geoslope International*. Dentre diversas finalidades, foi utilizado esse método também para análise da deformação da geomembrana aplicada sob o DRS2. Tendo sido identificado deformação máxima ao final da construção do depósito de até 6% conforme apresentado na Figura 7.1. Este valor é inferior ao exigido nas especificações técnicas das geomembranas indicadas no item anterior (12% para geomembranas lisas e rugosas; 70% para geotêxtil não tecido). Dessa forma, é possível afirmar que a adoção do material em termos de deformação é adequada.

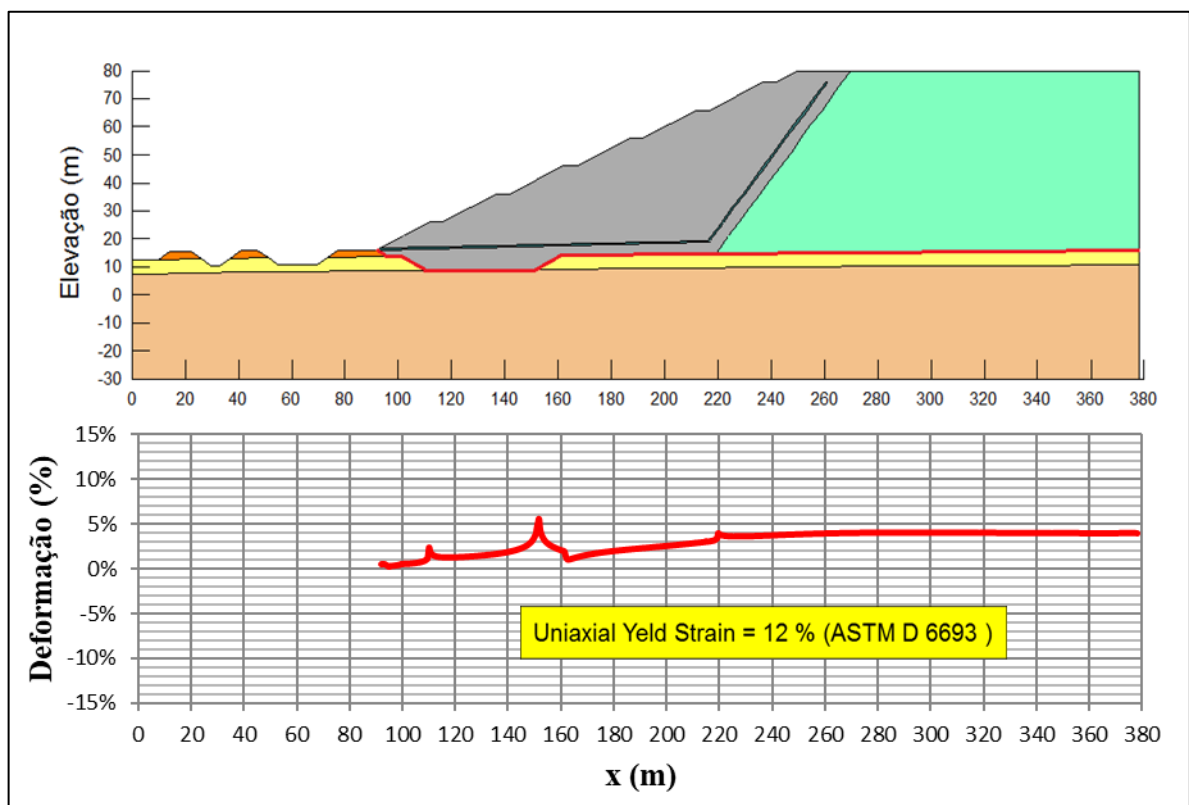


Figura 7.1 – Deformação na geomembrana ao final da construção do DRS2

7.3 AVALIAÇÃO DA FONNTES

7.3.1 Verificação da espessura da geomembrana

Visando verificar se a adoção da geomembrana utilizada sobre os resíduos dispostos foi feita de maneira adequada, a FONNTES realizou verificação com base nos parâmetros do solo e do resíduo disposto. Neste item será avaliada apenas a geomembrana de 1,5mm de espessura, que se encontra sob os rejeitos. Isto se justifica pois as geomembranas projetadas com 1,0mm de espessura, recomendadas apenas para proteção de taludes possuem carregamento desprezível em relação a resistência do material geossintético e dispensam verificação. A seguir é apresentada a metodologia de verificação utilizada.

A determinação da espessura da geomembrana proposta em literatura técnica deve obedecer a equação de KOERNER (1998) apud VERTEMATTI (2015) representada pela Equação 7.1.

$$t = \frac{\sigma_n \times X \times (\tan \delta_u + \tan \delta_l)}{\sigma^{adm} \times \{\cos \alpha - (\sin \alpha \times \tan \delta_l)\}} \quad \text{Equação 7.1}$$

Na qual:

- σ_n é a sobrecarga aplicada;
- X: é a distância mobilizadora da geomembrana;
- δ_u : é o ângulo de atrito entre a geomembrana e o material adjacente (acima), podendo ser solo, geotêxtil, concreto, entre outros. Para líquidos adota-se $\delta_u = 0$, para aterro adota-se $10^\circ < \delta_u < 40^\circ$;
- δ_l : é o ângulo de atrito entre a geomembrana e o material inferior, podendo ser solo, geotêxtil, concreto; entre outros (com variação de $6^\circ < \delta_l < 40^\circ$);

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

- σ^{adm} : é a tensão admissível na geomembrana; e
- α : é o ângulo de mobilização da geomembrana com a tensão horizontal.

Essa metodologia de KOERNER é aplicável quando, ao longo da vida útil do revestimento, a geomembrana apresente recalque ΔH que formará um ângulo α no solo de fundação da mesma, que resultará em deformação na geomembrana, gerando assim uma tensão de tração em função da espessura “t” da mesma.

Os parâmetros de peso específico do resíduo, ângulo de atrito do resíduo e da interface entre as geomembranas, foram obtidos por meio da memória de cálculo das análises geotécnicas (DB-3541-54-G-319) e relatório técnico de interpretação dos resultados dos ensaios de laboratório e de campo no resíduo (RT-3540-54-G-366-R01). Altura da pilha de resíduo identificada nos documentos consultados é equivalente a 64 metros (entre El. 16 e El. 80m).

As deformações verticais máximas na camada da fundação conforme documento DB-3541-54-G-319 atinge até 2,0m, equivalente a uma deformação diferencial de 2,0m (ΔH conforme Figura 7.2) Com base nos resultados dos deslocamentos verticais máximos ao longo prazo para o DRS2 (Figura 7.3, DB-3541-54-G-319), foi obtido graficamente o ângulo de atrito da geomembrana com o solo abaixo dele, sendo adotado o valor de 3° (Figura 7.5).

INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2

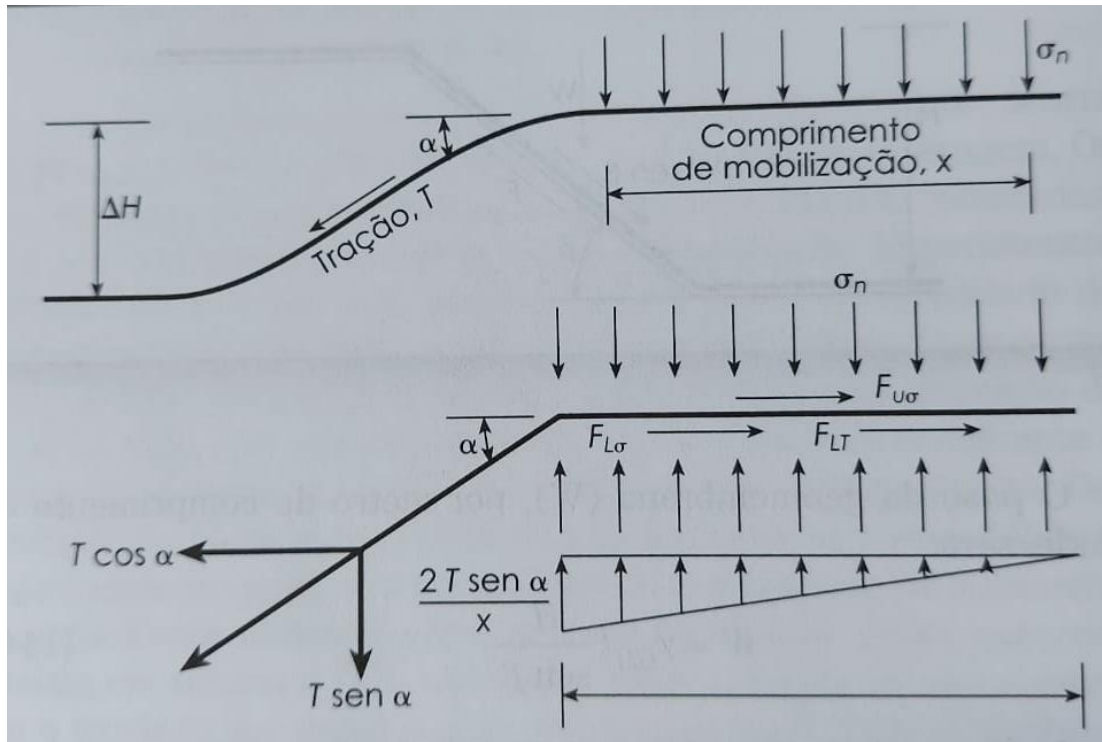


Figura 7.2 – Geomembrana tracionada por recalque da fundação e modelo de cálculo (VETERMATTI, 2015, modelo de cálculo proposto por KOERNET, 1998)

INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2

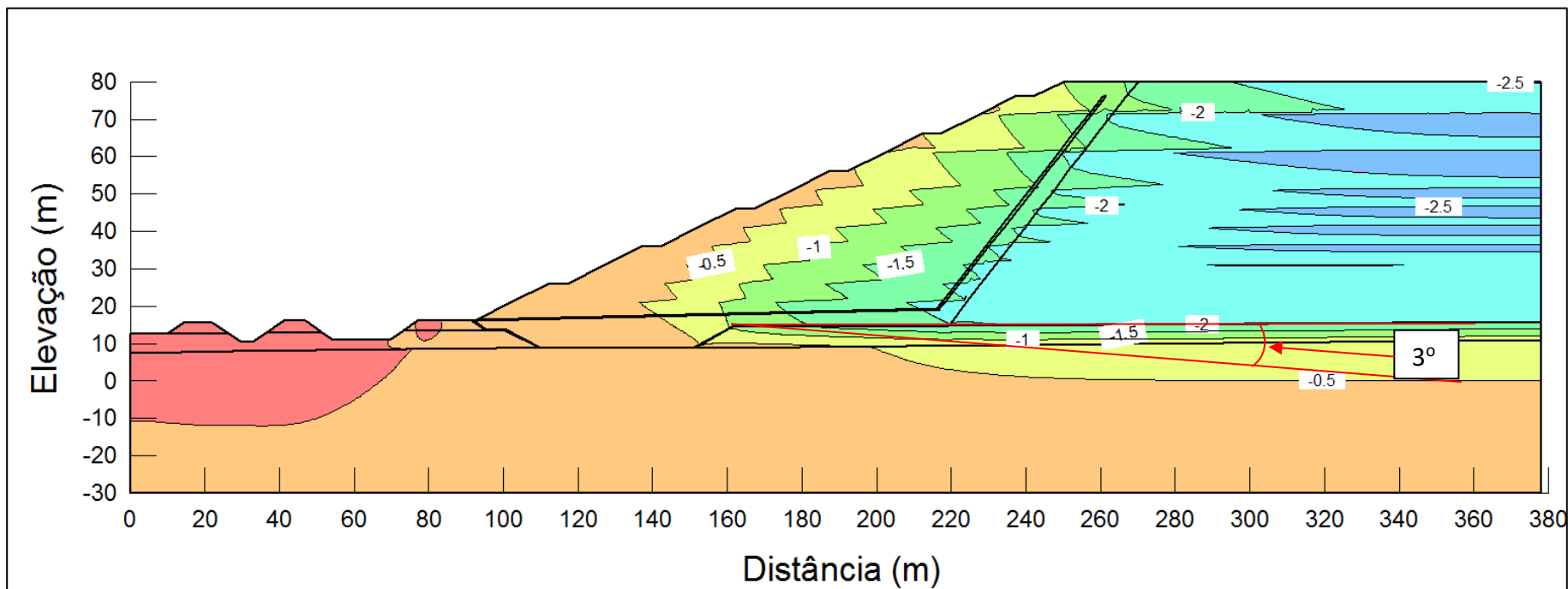


Figura 7.3 – Deslocamentos verticais – longo prazo

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

Tabela 7.5 – Parâmetros Geotécnicos Para as Análises de Estabilidade Realizadas (DB-3541-54-G-319)

MATERIAL	PESO- ESPECÍFICO γ (KN/M ³)	PARÂMETROS EFETIVOS		PARÂMETROS TOTALIS	FONTE DOS DADOS
		COESÃO C' (KPA)	ÂNGULO DE ATRITO ϕ' (°)	SU/ σ'_v	
Fundação fofa	17,00	8	21	0,300	5186-54-G-005/ RJ-5669-07 (Geomecânica, 2016) e Boletins de ensaios da LOCTEST (2014)
Fundação densa	20,00	13	27	0,500	RT-5186-54-G-002/RJ-5669-02 e RT-5186-54-G-007/RJ-5669-07 (Geomecânica)
Resíduo seco	18,50	6	33	0,520	Relatório RT-5186-54-G-001/ RJ-5640-019 Geomecânica (2015)
Resíduo úmido	17,50	2	32	0,362	
Aterro	20,90	9	31	-	Triaxial CU sat - LOCTEST – 2014
Drenos e filtros	19,00	0	32	-	Estimado
Interface rugosa Geomembrana	19,00	0	27,5	-	RT-5186-54-G-005/RJ-5669-07 (Geomecânica)
Interface lisa Geomembrana	19,00	0	17	-	RT-5186-54-G-003/ RJ-5669-04 (Geomecânica)

A Tabela 7.6 resume os parâmetros adotados e resultado obtido para a espessura mínima da geomembrana. A espessura é compatível com a espessura da geomembrana utilizada sob os resíduos no DRS2.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

Tabela 7.6 – Verificação da espessura da geomembrana adotada (geomembrana 1.5mm)

Cálculo da Espessura da Geomembrana		
Tensão aplicada pelo peso do material	σ_n (kPa)	1184,00
Comprimento de mobilização da membrana:	x (m)	0,04500
Ângulo de atrito entre GM e material sobre ela:	δ_u (°)	8,00
Ângulo de atrito entre GM e material embaixo dela:	δ_{dL} (°)	17,00
Esforço permissível na Geomembrana:	Tadm (kPa)	18.000
Angulo de deformação da fundação	$\alpha =$	3,00
Fator de Segurança	Fs	1,00
Espessura mínima da geomembrana - e	(m)	0,0013
	(mm)	1,3

Ressalta-se que, ao que diz respeito a vida útil das geomembranas, a resistência química e durabilidade das geomembranas de modo geral são manifestados pela oxidação ou ação de raios ultravioleta, temperatura e agentes biológicos, para isso são empregados aditivos na composição da geomembrana como o negro de fumo, antioxidantes e estabilizadores.

Koerner (2011) apresenta um estudo de predição de vida útil das geomembranas PEAD para condições não expostas e diferentes temperaturas. Com base na temperatura de 30°C para geomembrana não exposta, a vida útil é de 166 anos e com base na temperatura de 35°C a vida útil é de 106 anos. A média das temperaturas máximas anuais na região do depósito é de 31,6°C, o que permite-nos estimar uma vida útil de aproximadamente 150 anos.

7.3.2 Verificação do geotêxtil de proteção para a geomembrana

De acordo com VERTEMATTI (2004), uma das utilizações mais comuns em todo o mundo e, conseqüentemente, a mais estudada é a aplicação de geossintéticos com função protetora, em especial de geomembranas. Assim, é comum utilizar-se geotêxtil na proteção de geomembranas quando instaladas em contato com material contundente (protuberâncias, vegetação, pedregulhos, entre outros).

INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2

O aumento da resistência ao puncionamento de uma geomembrana pode ser garantido de duas maneiras:

- Aumentando-se a sua espessura; ou
- Introduzindo-se uma ou duas camadas de um geotêxtil com gramatura adequada de forma a resistir os esforços atuantes.

Aplicando-se a formulação desenvolvida por NAREJO ET AL. (1996) (Equação 7.2), apresentada por KOERNER (1998), para o dimensionamento de geotêxtis para proteção de geomembranas em relação ao puncionamento, tem-se:

$$F_S = \frac{P_{adm}}{P_{base}} \quad \text{Equação 7.2}$$

Na qual,

P_{BASE} : tensão normal atuante sobre a geomembrana; e

P_{ADM} : tensão admissível ao puncionamento da geomembrana, calculada conforme a Equação 7.3.

$$P_{adm} = \left[450 \times \frac{M}{H^2} \right] \times \frac{1}{MF_s \times MF_{PD} \times MF_A} \times \frac{1}{RF_{CR} \times RF_{CBD}} \quad \text{Equação 7.3}$$

Na qual,

M é a gramatura do geotêxtil (g/m^2);

H é a altura da protuberância (m);

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

MF_A, MF_{PD} e MF_S são fatores de forma e espaçamento das protuberâncias e de carga sobre a geomembrana definidos a partir da Tabela 9.1 da Publicação “Manual Brasileiro de Geossintéticos”, VERTEMATTI (2015);

RF_{CR} e RF_{CBD} são fatores de redução para fluência e degradação do geotêxtil definidos a partir da Tabela 9.2 da Publicação “Manual Brasileiro de Geossintéticos”, VERTEMATTI (2015);

Os resultados do cálculo da gramatura do geotêxtil requerido de acordo com os parâmetros apresentados no documento DB-3541-54-G-319, são apresentados na Tabela 7.7.

Tabela 7.7 – Cálculo da gramatura do geotêxtil

FS	P _{base} (kPa)	Padm (kPa)	H (mm)	FM _S	FMDR	FMA	FR _{DQB}	FR _{FL}	M (g/m ²)
3	1184.00	3552.00	6	0.5	1.00	1.00	1.00	1.5	213.12

FS – Fator de segurança; P_{BASE} – peso aplicado sobre o material; FR_{DQB} – Fator de redução; FM_S – Fatores de modificação (forma da protuberância); FM_{DR} – espaçamento da protuberância; FMA – Sobrecarga.

Uma vez que foi adotado gramatura do geotêxtil de 400 g/m², entende-se que foi adotado um valor conservador.

7.3.3 Verificação da ancoragem para a geomembrana

O cálculo da trincheira de ancoragem é determinado através da Metodologia de KOERNER (1998) apud VERTEMATTI (2004), dada pela Equação 7.4.

$$T^{adm} = \frac{\sigma_n \times L_{RO} \times (\tan \delta_u + \tan \delta_L) - P_A + P_P}{\cos \beta - (\sin \beta \times \tan \delta_L)} \quad \text{Equação 7.4}$$

INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2

Na qual,

σ_n : peso do material de proteção por metro linear (aterro);

δ_u : ângulo de atrito entre a geomembrana e o material adjacente (acima), no caso do DRS2 sendo uma camada de 0,07m de areia;

T_{adm} : tensão admissível na geomembrana (18.000,00 kPa);

L_{RO} : comprimento de desenvolvimento antes da descida na trincheira de ancoragem;

δ_u : ângulo de atrito entre a geomembrana e o material adjacente (acima), no caso do DRS2 sendo uma camada de 0,07m de areia;

δ_L : ângulo de atrito entre a geomembrana e o material inferior, no caso do DRS2, sendo uma camada de geotêxtil não tecido de gramatura 400g/m²;

β é o ângulo de mobilização da geomembrana com a tensão horizontal (inclinação do talude de 1,50H: 1,00 V) (33,69°);

P_A : tensão ativa contra o material de preenchimento da trincheira de ancoragem dada pela Equação 7.5; e

P_P : tensão passiva contra o material de preenchimento da trincheira de ancoragem dada pela Equação 7.6.

$$P_A = (0,50 \times \gamma_{aterro} \times d_{aterro} + \sigma_n) \times K_A \times d_{aterro} \quad \text{Equação 7.5}$$

$$P_P = (0,50 \times \gamma_{aterro} \times d_{aterro} + \sigma_n) \times K_P \times d_{aterro} \quad \text{Equação 7.6}$$

Em que,

d_{aterro} :profundidade da trincheira;

INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2

γ_{aterro} : peso específico do aterro de preenchimento da trincheira;

σ_n : esforço normal aplicado pela sobrecarga (peso do aterro da trincheira);

K_A : coeficiente de empuxo ativo;

K_P : coeficiente de empuxo passivo;

A Figura 7.4 apresenta o diagrama de forças atuantes na ancoragem.

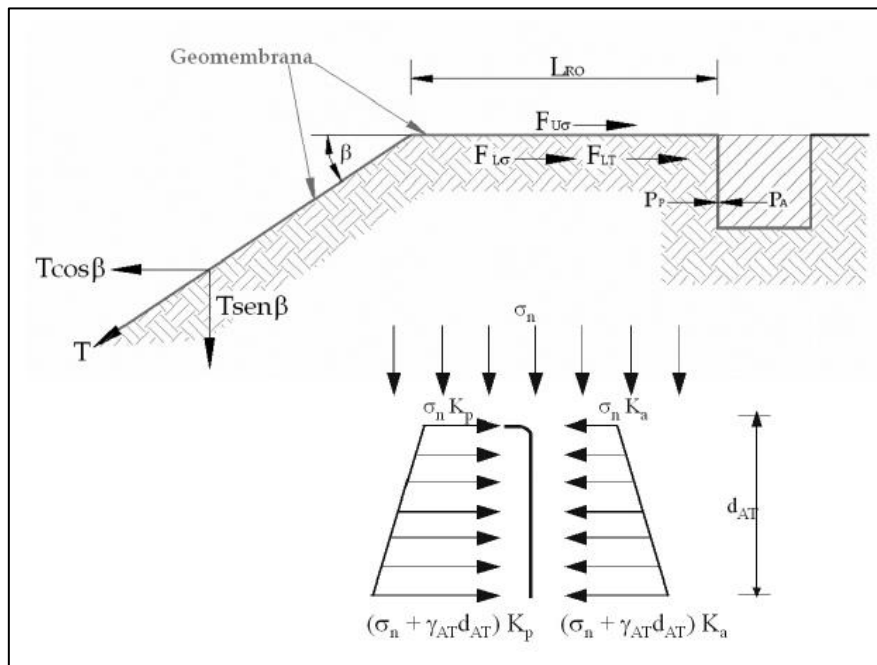


Figura 7.4 – Diagrama de forças atuantes em uma ancoragem por trincheira.

A especificação técnica de recebimento, aceitação e instalação de sistema de impermeabilização para bacias e canais (documento ES-3542-54-G-002) apresenta seção típica da ancoragem indicada tanto para o DRS1 quanto para o DRS2.

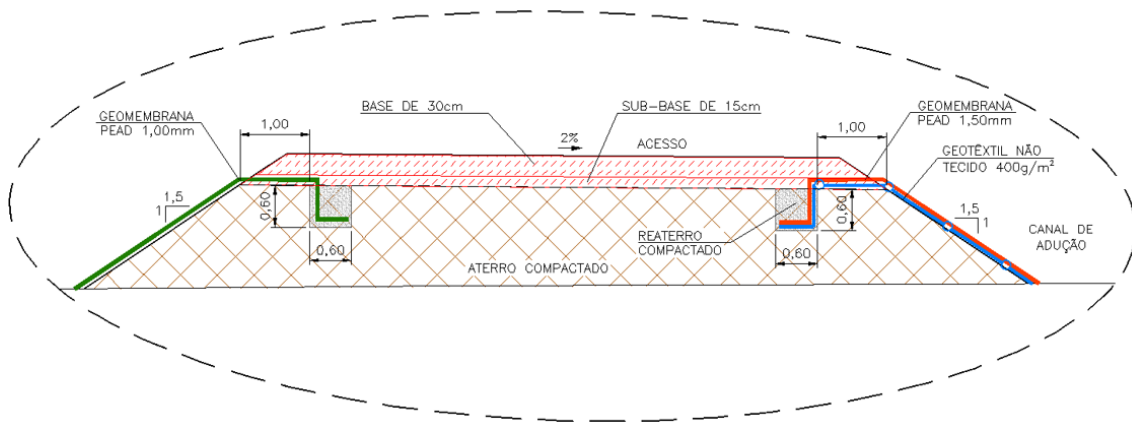
**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**


Figura 7.5 – Detalhe típico de crista de dique externo de canal de adução.

Os parâmetros do aterro compactado considerados para a verificação foram apresentados no item 7.3.1 (Tabela 7.5) e são replicados abaixo:

- Peso Específico (aterro compactado): 20,90 kN/m³;
- Coesão (c'): 9,00 KPa;
- Ângulo de atrito (φ'): 31,00°.

Assim; para o esforço normal atuante na trincheira, considerou-se o material do aterro que apresenta peso específico de 20,9 kN/m³, têm-se:

$$\gamma^{\text{aterro}} = 20,9\text{kN/m}^3 \rightarrow \sigma_n = 20,9 \times d_{\text{aterro}}$$

Para a coesão do material de aterro de 31,00°, os coeficientes de empuxo ativos são determinados a partir das Equação 7.7.

$$K_A = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi'}{2}\right)$$

$$K_P = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi'}{2}\right)$$

Equação 7.7

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

Os valores de empuxo ativo e passivo são apresentados na Tabela 7.8

Tabela 7.8 – Cálculo dos empuxos ativo e passivo

Cálculos dos Empuxos ativos e passivos				
$\phi'_{\text{aterro}} (\text{°})$	$45^\circ - \phi'/2$	$45^\circ + \phi'/2$	K_A	K_P
31.00	29.5	60.5	0.32	3.12

Para o cálculo das tensões ativas e passivas representadas nas equações 6.5 e 6.6 temos:

- Tensão Ativa: $P_A = 10,04 \times d_{\text{aterro}}^2$
- Tensão Passiva: $P_P = 97,94 \times d_{\text{aterro}}^2$

O ângulo de atrito entre a geomembrana e o material imediatamente acima formado por uma camada de 7 centímetros de areia apresenta ângulo igual a $17,00^\circ$ ($\delta_u = 17,00^\circ$). Já para o contato entre a geomembrana e o material inferior formado pelo geotêxtil não tecido é igual a 8° ($\delta_l = 8,00^\circ$).

Aplicando os valores obtidos na Equação 7.4 têm-se:

$$24,12 = 9,33 \times d_{\text{aterro}} \times L_{RO} + 87,90 \times d_{\text{aterro}}^2 \quad (1)$$

Para a determinação do comprimento de ancoragem da geomembrana, foi considerado o L_{RO} apresentado na especificação técnica de instalação da geomembrana (documento ES-3542-54-G-002, Figura 7.5), representando um comprimento de $L_{RO} = 1,0\text{m}$.

		AUDITORIA DE SEGURANÇA
INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A GEOMEMBRANA DO DRS2		

A partir desta consideração, foi realizado o cálculo mínimo da vala de ancoragem. Substituindo os valores obtidos em (1) temos a seguinte equação do 2º Grau:

$$87,90 \times d_{\text{aterro}}^2 + 9,33 d_{\text{aterro}} - 24,12 = 0$$

Resolvendo a equação de 2º Grau:

$$d_{\text{aterro}} = \frac{-9,33 \pm 92,56}{175,81} \Leftrightarrow \Leftrightarrow \begin{cases} d_{\text{aterro}} = 0,47 \text{ metros} \\ d_{\text{aterro}} = -0,58 \text{ metros (não aplicável)} \end{cases}$$

Portanto, a profundidade mínima a ser utilizada para a trincheira de ancoragem para a geomembrana do DRS2 é de 0,47. Logo, entende-se que a adoção de 0,60 conforme apresentada na especificação técnica de instalação da geomembrana (ES-3542-54-G-002) está adequada.

8. CONCLUSÕES

Após verificação das propriedades da geomembrana e geotêxtil utilizados, foi possível realizar uma avaliação de sua adequabilidade. Para tanto, foram utilizados os parâmetros disponíveis no projeto e aplicada a metodologia de dimensionamento proposta por VERTERMATTI (2015) para avaliação dos materiais geossintéticos propostos no projeto.

**INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2**

Após a análise, conclui-se que foi adotado valor de espessura da geomembrana adequado sob os resíduos para atender aos esforços que o DRS 2 irá exercer ao final de sua implantação (1,5mm de espessura). Além disso, também foi identificado que a gramatura do geotêxtil de proteção ao puncionamento está dimensionada de forma conservadora e a vala de ancoragem da geomembrana também estão adequados.

No que diz respeito a vida útil das geomembranas, a resistência química e durabilidade das geomembranas de modo geral são manifestados pela oxidação ou ação de raios ultravioleta, temperatura e agentes biológicos, para isso são empregados aditivos na composição da geomembrana como o negro de fumo, antioxidantes e estabilizadores.

Koerner (2011) apresenta um estudo de predição de vida útil das geomembranas PEAD para condições não expostas e diferentes temperaturas. Com base na temperatura de 30°C para geomembrana não exposta, a vida útil é de 166 anos e com base na temperatura de 35°C a vida útil é de 106 anos. A média das temperaturas máximas anuais na região do depósito é de 31,6°C, o que permite-nos estimar uma vida útil de aproximadamente 150 anos.

Portanto, as verificações conduzidas nesse estudo resultam em dimensionamento similar ao apresentado no projeto do DRS2. Dessa forma, pode-se concluir que o projeto foi realizado em consonância com as práticas de engenharia exigidas em normas e/ou recomendadas pela literatura disponível.

9. REFERÊNCIAS

- i. ALMARAZ, U. J. S. (1977). Aspectos Geoquímicos e Ambientais dos Calcários do Formação Pirabas, Pará. Tese de Doutorado, UFRS, 272 p.

INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2

- ii. BRASIL, Lei 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010.
- iii. BRASIL, Lei 12.651 – Código Florestal Brasileiro. Brasília, 2012.
- iv. FARIAS, E.S.; NASCIMENTO, F.S., FERREIRA, M.A.A. (1992). Estágio de Campo III: relatório final. Área Belém - Outeiro. Belém: Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará. 247 p.
- v. HAQ, B.V.; HARDENBOL, J.; VAIL, P.R. (1987). Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic (250 million years ago to present). Science, 235: 1156-1167 p.
- vi. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Barcarena/PA. População. 2010. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- vii. _____. Barcarena/PA. Educação. 2010b. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- viii. _____. Barcarena/PA. Economia. 2019. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- ix. _____. Barcarena/PA. Trabalho e Rendimento. 2020. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- x. _____. Barcarena/PA. Território e ambiente. 2021. Disponível em <[IBGE | Cidades@ | Pará | Barcarena | Panorama](#)>
- xi. KOERNER, ROBERT (1998). "Designing with Geosynthetics". Xlibris Corporation. 6ta Edição. Vol 2. New Jersey, USA. 914pp.
- xii. MABESOONE, J. M. e CASTRO, C. (1975). Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, Recife, v.3, p. 05- 35.
- xiii. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 237**, de 19 de dezembro de 1997.

INTERPRETAÇÃO DE TESTES RELATIVOS À APLICAÇÃO DO MATERIAL SOBRE A
GEOMEMBRANA DO DRS2

- xiv. NAREJO, D.; KOERNER, R.M.; WILSON FAHMY, R.F. **Puncture protection of geomembranes. Part II: experimental.** Geosynthetics International 3(5): 629-653 1996
- xv. ROSSETTI D.F. & VALERIANO M.M. 2007. Evolution of the lowest Amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. Catena, 70:253-265. VERTEMATTI, J.C. (2015). "Manual Brasileiro de Geossintéticos". CTG ABINT. Editorial Blucher. 2da Edição Atualizada e Ampliada. São Paulo, Brasil. 568pp.



WEBSITE

www.fonntesgeotecnica.com

TELEFONES

(31) 3582-9185

(31) 3582-9186

Endereço: Avenida Otacílio Negrão de Lima, 2837
– São Luiz (Pampulha).
Belo Horizonte / MG. CEP: 31365-450